www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Jaargang 19, 1957, no. 9 blz. 253-288 Verschenen 4 december 1957

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUKTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

EEN MEET-, REGEL- EN BEVEILIGINGSINSTALLATIE VOOR EEN KERNREACTOR VAN HET BASSINTYPE

1. ALGEMENE BESCHRIJVING

door M. van TOL.

621.316.7:621.039.4

De 28e juni 1957, op de tentoonstelling „Het Atoom" te Amsterdam, is voor het eerst in Nederland een kernreactor in werking gesteld. Bij de uitwerking van de plannen en het installeren van deze reactor, die van Amerikaans fabrikaat is, heeft men zoveel mogelijk de Nederlandse industrie betrokken. Zo werd b.v. de levering van de elektronische meet-, regel- en beveiligingsapparatuur opgedragen aan Philips.

Hieronder volgt als deel I van een artikel dat aan deze apparatuur is gewijd, een algemene beschrijving ervan, voorafgegaan door een korte uiteenzetting van de werking van een kernreactor. In deel II, dat in een volgend nummer zal verschijnen, worden bepaalde onderdelen (één van de neutronenfluxmeters, de indicator van gammastralen en de beveiligingsversterker) nader besproken.

Van de tentoonstelling „Het Atoom", die gedurende de zomermaanden 1957 in Amsterdam is gehouden, was de „kern" ongetwijfeld de in werking zijnde experimentele kernreactor (*fig. 1*). Binnenkort wordt deze reactor overgebracht naar Delft, waar hij ter beschikking zal komen van de Technische Hogeschool aldaar. De reactor is ontworpen en geleverd door de firma A.M.F. Atomics Inc. te NewYork, een dochtermaatschappij van de American Machine and Foundry Inc.

Van deze reactor volgen hieronder de voornaamste gegevens (welwillend ter beschikking gesteld door A. M. F. Atomics). Verschillende termen die hierbij voorkomen, worden verklaard in de klein gedrukte tekst onder het hoofd „Werking van een kernreactor" (blz. 254-256).

Vermogen:
max. 100 kW (op de tentoonstelling werd gewerkt met max. 10 kW).

Brandstof:
verrijkt uranium (20% U^{235}).

Moderator:
gewoon (niet zwaar) gedestilleerd water.

Koelmiddel:
hetzelfde water als boven.

Afscherming:
hetzelfde water als boven, en beton.

Type:
bassintype („swimming-pool type"), d.w.z. de reactorkern is opgesteld in een met water gevuld bassin, waarin het water de drie bovengenoemde functies heeft. Het bassin heeft hier de vorm van een put (7 m diep, 3 m middellijn, zie *fig. 2*).

Afmetingen reactorkern:
38 bij 45 bij 60 cm.

Neutronenflux binnen de reactorkern:
max. 10^{12} neutronen per cm^2 en per seconde.

Regeling (grof), tevens beveiliging:
vier (op de tentoonstelling drie) stel- en veiligheidstaven van boriumcarbide.

Regeling (fijn):
één regelstaaf van niet-roestend staal.

Overmaat reactiviteit:
op de tentoonstelling 0,5% (zal later meer worden).

Max. regeleffect van alle staven samen:
12,5%.

De laatste twee opgaven betekenen dat de factor

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 1. Experimentele kernreactor van het bassintype op de tentoonstelling „Het Atoom" te Amsterdam (Schiphol). De foto toont de bovenkant van het putvormige bassin, waaromheen een voor bezoekers toegankelijk bordes is aangebracht. In de cabine op de achtergrond bevindt zich de meet-, regel- en beveiligingsapparatuur.

k waarmee het aantal neutronen van generatie op generatie toe- of afneemt, maximaal 1,005 bedroeg (alle staven omhoog) en minimaal 12,5% minder, dus ca. 0,9 (alle staven omlaag).

De reactorkern bevindt zich onder in het bassin (fig. 2). De brandstofelementen, die samen 18 kg uranium bevatten, zijn geheel bekleed met aluminium, ter voorkoming van corrosie. Het water kan vrij tussen de brandstofelementen door circuleren. Sommige van de elementen zijn zo uitgevoerd dat een veiligheids- c.q. regelstaaf erin op en neer kan worden bewogen. Dit gebeurt met behulp van servomotoren, die op een platform boven het bassin zijn geplaatst. Het water wordt door een pomp in circulatie gehouden. Het wordt in een demineralisator (ionenwisselaar) zoveel mogelijk ontdaan van minerale bestanddelen, die op den duur de moderator zouden „vergiftigen".

Werking van een kernreactor

Wij zullen hier eerst in het kort de werking van een kernreactor bespreken die uranium als „brandstof" heeft.

De werking van een uraniumreactor berust voornamelijk op de eigenschappen van het uraniumisotoop U^{235}. Natuurlijk uranium bevat slechts ca. 0,7 % U^{235} en ruim 99 % U^{238}. Dikwijls wordt „verrijkt" uranium gebruikt, met een U^{235}-gehalte van b.v. 20 %.

Splijting van kernen U^{235}

Een kern U^{235} kan, na een neutron te hebben gevangen, in twee (zelden drie) stukken uiteenvallen. Meestal zijn de stukken ongelijk en heeft het ene een massagetal van omstreeks 95, het andere van ongeveer 140. Per splijting komt een energie van ca. 200 MeV vrij, grotendeels als kinetische energie van de splijtingsfragmenten. Deze energie kan b.v. door tussenkomst van een koelvloeistof aan de reactor worden onttrokken en nuttig gebruikt. Een klein deel van de splijtingsenergie komt vrij als gammastraling; een afscherming, bestaande uit b.v. water en beton, zorgt ervoor dat deze straling voldoende wordt geabsorbeerd.

Uit de splijtingsfragmenten van één splijting treden gemiddeld 2 à 3 neutronen. Doordat het er meer dan 1 zijn, kunnen ze dienstbaar worden gemaakt om op hun beurt kernen U^{235} te splijten en zo het proces zichzelf aan de gang te doen houden. De uit de splijtingsprodukten vrijkomende neutronen hebben echter grote snelheden (energie in de orde van 1 MeV), en in uranium met 20 % U^{235} zijn zulke snelle neutronen niet in staat, in noemenswaardige mate kernen U^{235} te splijten. Wèl is dit het geval met neutronen die „thermische" snelheden bezitten, overeenkomend met ca. 0,03 eV. (Men drukt dit uit door te zeggen dat de kern U^{235}

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een kleine werkzame doorsnede voor snelle neutronen heeft, en een grote voor „thermische" neutronen.) Men brengt daarom in de reactor een moderator aan, die tot taak heeft, de snelle neutronen tot thermische snelheden te remmen, zonder veel neutronen te absorberen. De moderator bestaat uit een stof (b.v. grafiet, gewoon water, zwaar water) die zodanig met het uranium is gemengd of om het uranium heen is aangebracht dat de snelle neutronen erin terechtkomen. Deze verliezen dan aan snelheid door botsingen met de moleculen van de moderator; reeds na ca. 18 botsingen met H-atomen b.v. is een neutron met 1 MeV beginenergie een thermisch neutron geworden.

Kettingreactie

Een deel van de bij splijtingen vrijgekomen neutronen gaat verloren: sommige ontsnappen uit de reactor, andere worden geabsorbeerd in kernen U^{238}, in de moderator, in de splijtingsprodukten of in opzettelijk daarvoor aangebracht neutronenabsorberend materiaal (zie beneden). Het blijkt echter zeer wel mogelijk te zijn, zodanige omstandigheden te scheppen dat er van de vrijkomende snelle neutronen een voldoende aantal tot thermische snelheden wordt teruggebracht om de reactie aan de gang te houden (kettingreactie). Zijn deze omstandigheden verwezenlijkt, dan kan de reactie spontaan aan de gang komen, daar er tevoren meestal wel (b.v. door kosmische straling) een thermisch neutron aanwezig is dat als „lucifer" fungeert. Om van het begin af al iets te kunnen meten, brengt men echter in de praktijk steeds een kunstmatige neutronenbron aan, die de eerste neutronen levert.

Hoe groter de reactor is, des te kleiner is zijn oppervlakte in verhouding tot zijn volume, en des te geringer is dus naar verhouding de ontsnappingskans van de neutronen. Hiermee hangt samen het bestaan van een kritisch volume: in een reactorvolume kleiner dan het kritische kan (door te groot neutronenverlies) geen kettingreactie optreden, in een volume groter dan het kritische kan dit wel. De grootte van het kritische volume hangt sterk af van allerlei omstandigheden: de configuratie, de moderator, het gehalte aan U^{235}, de temperatuur, enz.

De neutronenhuishouding

In een werkende reactor ontstaan voortdurend vrije neutronen en er worden er voortdurend geabsorbeerd. Men kan dus spreken van neutronengeneraties, die een bepaalde gemiddelde levensduur hebben. Een belangrijke grootheid is de vermenigvuldigingsfactor k, d.i. het aantal neutronen waaruit een bepaalde generatie bestaat, gedeeld door het aantal dat de voorafgaande generatie vormde. In een stationair werkende reactor is $k = 1$. Om een reactor te doen aanlopen, moet men k groter dan 1 maken; een zeer kleine overmaat, b.v. 0,1%, d.w.z. $k = 1{,}001$, kan al voldoende zijn.

Hoewel er bij elke splijting 2 tot 3 nieuwe neutronen ontstaan, zodat de factor k bij afwezigheid van alle verliezen 2 tot 3 zou zijn, is de maximale waarde die k in een werkelijke reactor kan

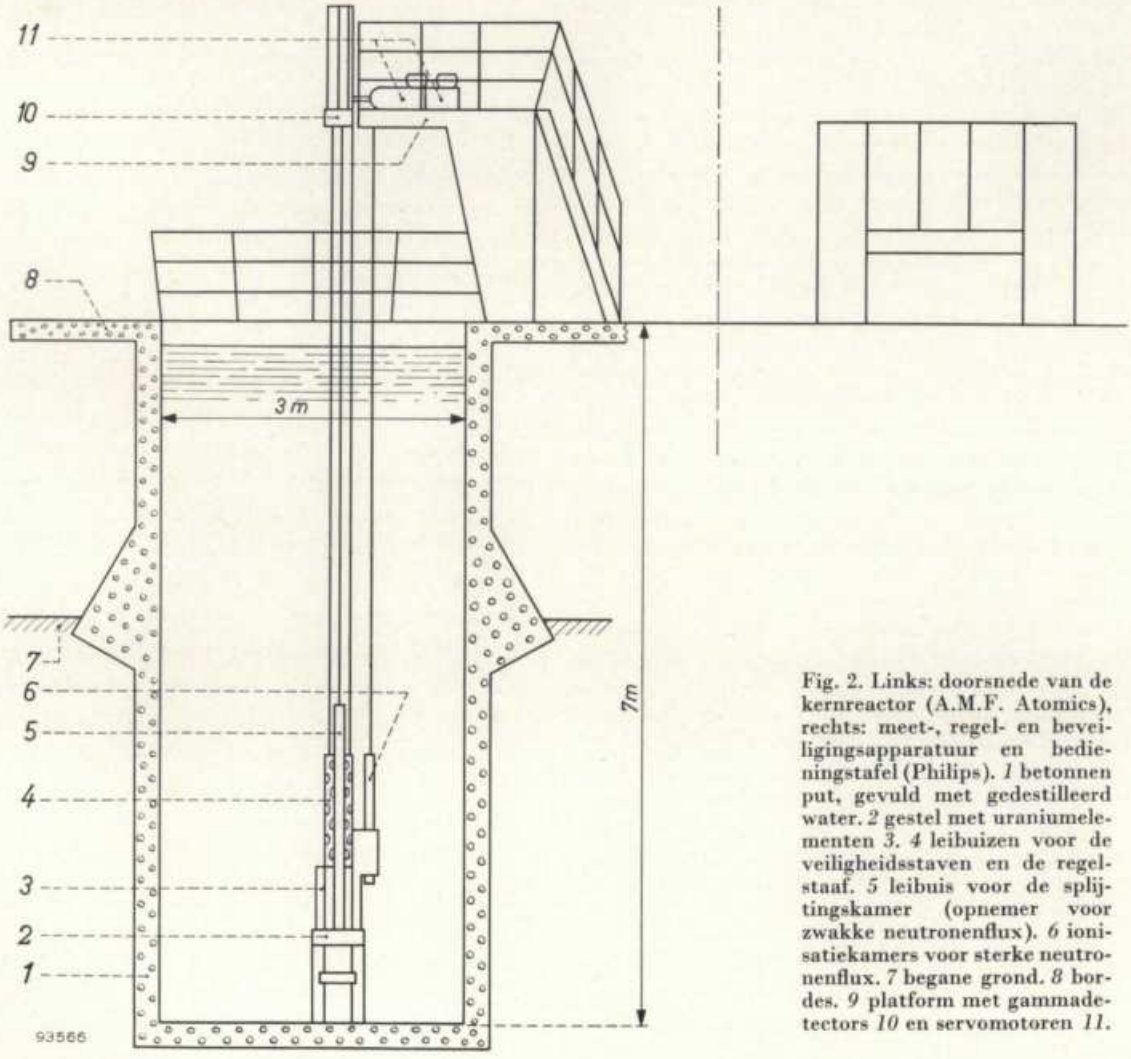

Fig. 2. Links: doorsnede van de kernreactor (A.M.F. Atomics), rechts: meet-, regel- en beveiligingsapparatuur en bedieningstafel (Philips). *1* betonnen put, gevuld met gedestilleerd water. *2* gestel met uraniumelementen *3*. *4* leibuizen voor de veiligheidsstaven en de regelstaaf. *5* leibuis voor de splijtingskamer (opnemer voor zwakke neutronenflux). *6* ionisatiekamers voor sterke neutronenflux. *7* begane grond. *8* bordes. *9* platform met gammadetectors *10* en servomotoren *11*.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bereiken, meestal niet veel meer dan 1,01. De oorzaken die voor deze kleinere waarde verantwoordelijk zijn, zijn de volgende.

1) Ontsnapping van neutronen uit de reactor.
2) Absorptie van neutronen, in de moderator, in de splijtingsprodukten en in U^{238}, in het bijzonder resonantie-absorptie van neutronen tijdens het geremd worden in de moderator: neutronen met 6,5 eV hebben een niet te verwaarlozen kans dat ze worden gevangen door kernen U^{238} („resonantie").

Een (geringe) compensatie voor het verloren gaan van neutronen wordt gevormd door het feit dat een klein deel van de nog niet geremde neutronen kernen U^{235} en U^{238} tot splijting brengt, waarbij per splijting meer dan één snel neutron ontstaat.

Heeft men een toestand met k groter dan 1 bereikt — wat des te gemakkelijker gaat naarmate het uranium rijker is aan U^{235} — dan neemt het aantal neutronen voortdurend toe, het aantal splijtingen per seconde en het vermogen dat de reactor levert, dus eveneens. De tijd waarin het vermogen met een factor e toeneemt — de tijdconstante dus — wordt de „periode" van de reactor genoemd.

Regeling

Voor een kernreactor is het essentieel dat men het verloop van de reactie beheerst. Op grond van het feit dat zowel iedere splijting op zichzelf als het daarop volgende remmen van de neutronen in de moderator een uitermate korte tijd in beslag neemt, zou men kunnen menen dat elke op gang komende kettingreactie zich zo snel zou uitbreiden dat geen enkel regelmechanisme tijdig zou kunnen ingrijpen en dat beheersing van de reactie dus onmogelijk zou zijn. De onjuistheid van deze mening berust op de omstandigheid dat niet alle neutronen meteen al tijdens de splijting vrijkomen. 99 % van de vrijkomende neutronen zijn inderdaad zulke „prompte" neutronen, maar van de kleine rest kan men het geleidelijk vrijkomen nog minutenlang na een splijting waarnemen. Deze „vertraagde" neutronen zijn het die regeling met mechanische — dus vrij trage — middelen mogelijk maken.

In het voorgaande is reeds gezegd dat bij elke splijting een hoeveelheid energie van ca. 200 MeV vrijkomt. Het vermogen dat een reactor levert, is dus evenredig met het aantal splijtingen per seconde. Dit aantal is op zijn beurt evenredig met het aantal thermische neutronen dat aanwezig is. Voor een meting (en ook voor regeling) van het vermogen is het dus voldoende, dit aantal neutronen te meten. Dit laatste is mogelijk doordat de neutronen door de reactor heen bewegen. Het produkt van het aantal thermische neutronen per volume-eenheid en hun gemiddelde snelheid (die niet afhangt van het vermogen dat de reactor ontwikkelt) heet neutronenflux (N). Deze grootheid is evenredig met het door de reactor ontwikkelde vermogen; ze is een van de voornaamste grootheden die bij een reactor steeds gemeten worden, en wordt gebruikt voor de regeling.

Als u het aantal kernen U^{235} per volume-eenheid is, σ de werkzame doorsnede van een kern U^{235} voor thermische neutronen, en V het volume van de reactor, dan is $Nu\sigma V$ het aantal splijtingen dat per tijdseenheid optreedt. Per splijting komt 200 MeV vrij, d.i. $3{,}2\times10^{-11}$ watt. Het ontwikkelde vermogen P is dus:

$$P = Nu\sigma V \times 3{,}2\times10^{-11} \text{ watt.}$$

Bij een stationair werkende reactor is de vermenigvuldigingsfactor k (bij definitie) precies 1. Deze toestand kan natuurlijk nooit exact gehandhaafd worden. k is dus in de praktijk steeds iets groter of iets kleiner dan 1, d.w.z. het aantal neutronen (en dus ook de neutronenflux en het vermogen) neemt geleidelijk iets toe of af. Om toch het vermogen binnen zekere grenzen te houden, moet men een middel in de hand hebben om k een weinig te variëren. Daartoe wordt gebruik gemaakt van één of meer staven van een materiaal dat neutronen absorbeert (b.v. cadmium, borium, ijzer). Door deze regelstaven, b.v. met behulp van servomotoren, verder of minder ver in de reactor te schuiven, maakt men het neutronenverlies groter resp. kleiner, de factor k dus kleiner resp. groter. Meestal wordt met sommige van deze staven slechts grof geregeld, d.w.z. deze stelstaven („shim rods") worden in een zodanige stand geplaatst dat $k = 1$ indien de overige staven (de eigenlijke regelstaven) in hun middenstand staan, zodat hiermee fijne regeling over een naar weerskanten maximaal gebied mogelijk is. Dikwijls dienen de stelstaven tevens als veiligheidsstaven („safety rods"), die in geval van nood zo snel mogelijk in de reactor worden gebracht om deze stop te zetten. Door gebruik te maken van de methodes der regeltechniek kan men de regeling automatisch maken.

Een beheerste kettingreactie, met grafiet als moderator en regelstaven van cadmium, is voor het eerst tot stand gekomen onder leiding van Fermi aan de universiteit van Chicago, in december 1942.

Op het brandstofverbruik en de reactieprodukten van een kernreactor wordt nader ingegaan in het Aanhangsel.

Overzicht van de noodzakelijke meetapparaten

Voor het juist doen functioneren van de reactor is het nodig dat een aantal grootheden voortdurend worden gemeten (deels ook geregistreerd) en dat de servomotoren met de hand en ook door een automatische regelaar kunnen worden bestuurd. Gemeten worden:

a) de neutronenflux (op vijf plaatsen in de reactorkern),
b) de temperatuur van het water (op drie plaatsen),
c) de stand van de regelstaaf en van de veiligheidsstaven,
d) de gammastraling (op twee plaatsen boven het water en op één plaats bij de demineralisator).

Deze grootheden worden door middel van zg. opnemers omgezet in elektrische grootheden en zijn direct afleesbaar op meetinstrumenten. Eveneens afleesbaar zijn het ontwikkelde vermogen, dat evenredig is met de neutronenflux, en de „periode" (tijdconstante), die uit het verloop van de neutronenflux wordt afgeleid. Een te korte periode betekent dat de neutronenflux (en daarmee het vermogen) te snel toeneemt.

Het vermogen van de reactor wordt geregeld door de regelstaaf met behulp van zijn servomotor omhoog of omlaag te bewegen.

Een zeer belangrijk punt is de beveiliging. Bij de gevaren die kunnen optreden, moet men niet denken aan een ontploffing als van een atoombom,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

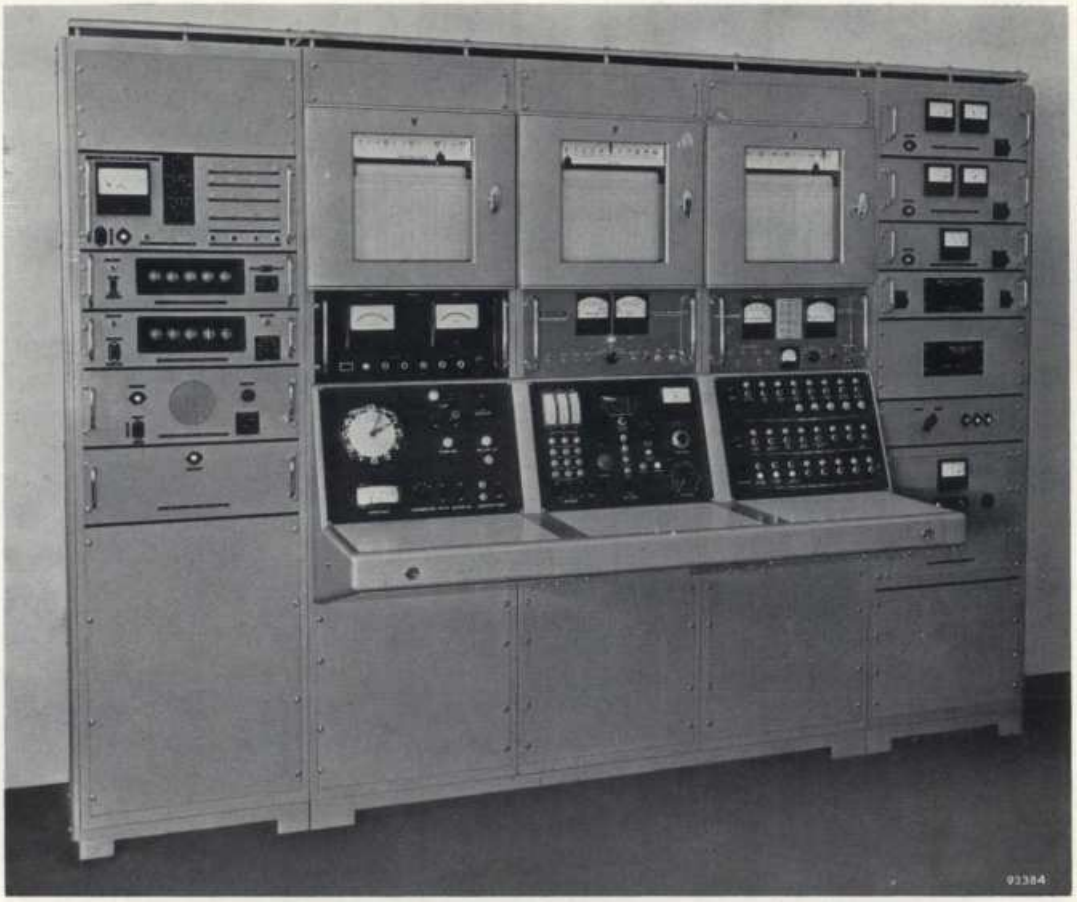

Fig. 3. De meet-, regel- en beveiligingsinstallatie. Op het linkerrek, van boven naar beneden: gamma-indicator, impulsenteller, tijdschakeling, luidsprekerpaneel, paneel voor temperatuurmetingen. Op het rechterrek o.a. gestabiliseerde voedingsbronnen. Voor het middengedeelte, zie fig. 7.

maar wel b.v. aan te sterke gammastraling in de omgeving, of aan beschadiging van de reactorkern door te hoge plaatselijke temperatuur. Dreigt een van deze gevaren, dan moet alarm worden gegeven en de reactor zo snel mogelijk buiten werking worden gesteld („scram"). Dit laatste gebeurt als volgt. De veiligheidsstaven zijn aan hun aandrijfmechanisme opgehangen door middel van elektromagneten. Bij te korte periode, te sterke neutronenflux, te sterke gammastraling, en bij nog enkele andere min of meer ongewenste omstandigheden wordt automatisch de magneetstroom verbroken. De staven vallen dan vanzelf in hun onderste stand, waar zij zoveel neutronen absorberen dat de reactor stopt.

Nagenoeg de gehele apparatuur voor het meten, regelen en beveiligen is geleverd door Philips, op specificatie van A. M. F. Atomics. Deze merendeels elektronische apparatuur is gemonteerd op een vijftal, tot één geheel verenigde standaardrekken met bedieningstafel (*fig. 3*). In de middelste drie rekken bevinden zich de belangrijkste meetapparaten, o.a. de registrerende potentiometers [1]) voor de neutronenflux. De beide foto's van *fig. 4* tonen de achterzijde van de vijf rekken; men ziet hier o.a. de netspanningsstabilisator en het complete relaissysteem voor het besturen van de servomotoren en voor de beveiliging. In *fig. 5* zijn de relais van nabij te zien.

De meetkanalen voor de neutronenflux

Voor het registreren en het automatisch regelen van de neutronenflux enerzijds en voor het beveiligen tegen de gevolgen van te sterke flux anderzijds zou men in principe kunnen volstaan met één en dezelfde opnemer, verbonden met een versterker, waarvan de uitgangsspanning een maat is voor de neutronenflux. In werkelijkheid echter worden niet minder dan vijf opnemers gebruikt, elk met een eigen meetkanaal. De redenen hiervoor blijken uit het volgende.

[1]) H. J. Roosdorp, Een automatische meetbrug voor gebruik in de industrie, Philips techn. T. **15**, 237-247, 1953.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

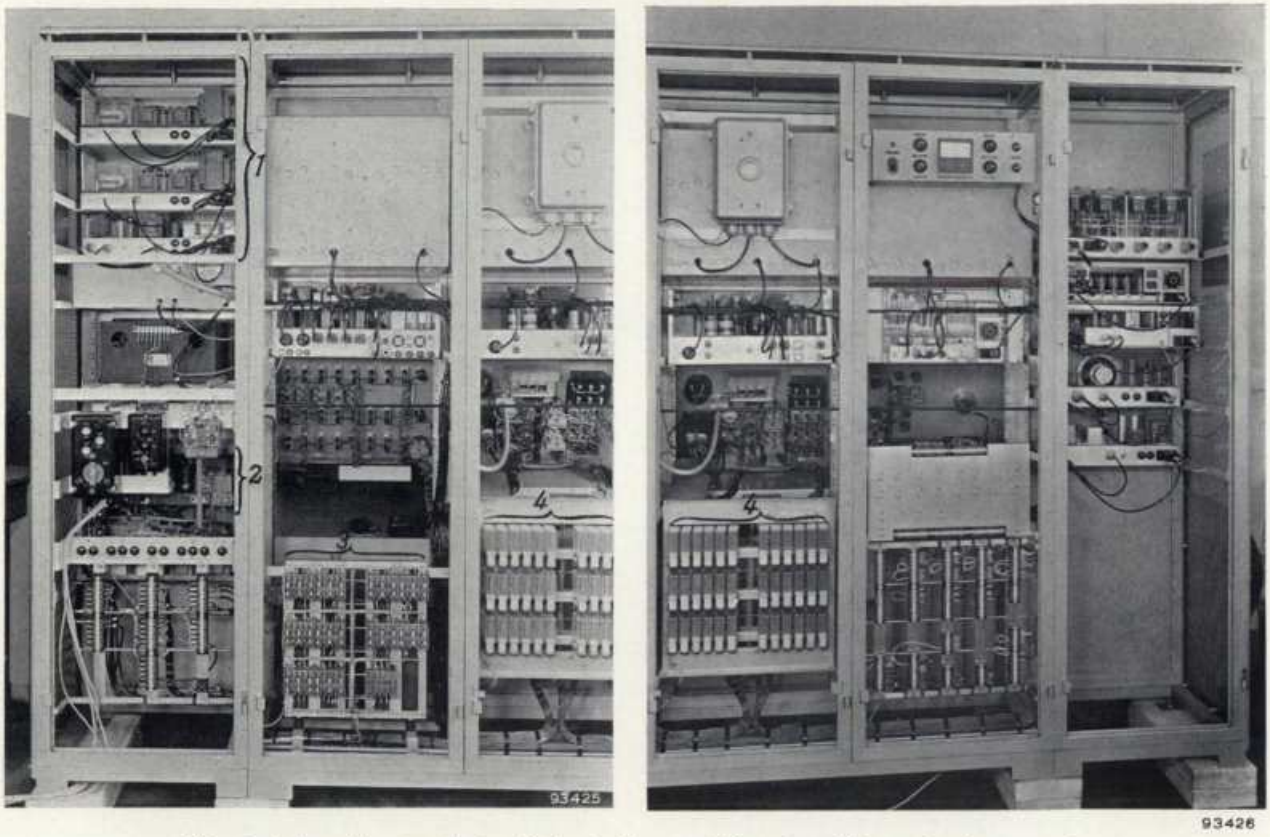

Fig. 4. Achterzijde van de installatie. *1* drie gestabiliseerde gelijkspanningsbronnen. *2* wisselspanningsstabilisator. *3* en *4* relais voor de servomotoren en de beveiliging (vgl. fig. 5).

a) Voor het registreren werkt men gaarne met een logaritmische schaal, omdat de neutronenflux vanaf de afgesloten toestand tot die van maximaal vermogen met een factor 10^8 tot 10^9 toeneemt. Ook voor het bepalen van de periode is een logaritmische meting van de flux nodig. Hierbij behoort een gecompliceerde elektronische apparatuur, waaraan hoge eisen worden gesteld wat betreft gevoeligheid en reproduceerbaarheid.

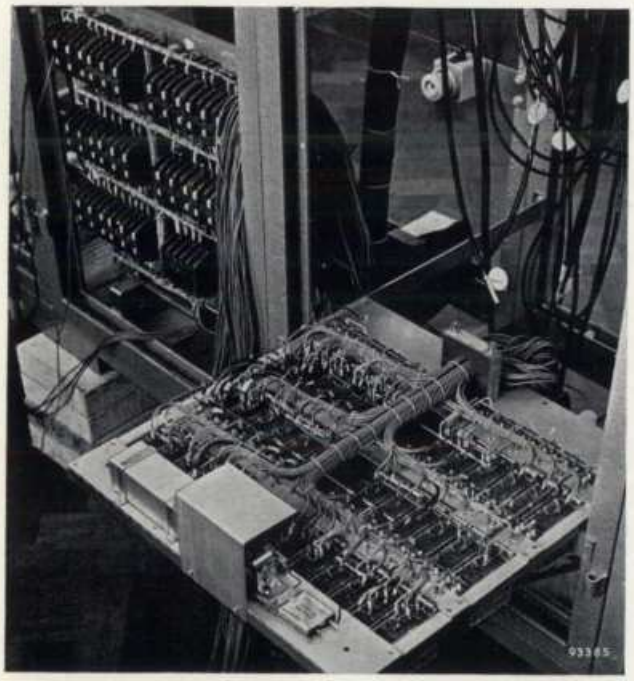

Fig. 5. Relais voor de servomotoren en de beveiliging. Een van de relaispanelen is neergeklapt voor inspectie.

b) Voor het regelen gebruikt men bij voorkeur een lineair meetinstrument. Dit kan, indien het een voldoende aantal meetgebieden heeft, tevens dienen voor het nauwkeurig meten van de neutronenflux (wat uiteraard niet mogelijk is met een instrument waarvan de schaal vele decades beslaat).

c) De beveiligingsinrichting moet niet alleen reageren bij te sterke neutronenflux, te korte periode, te hoge temperatuur, enz., maar ook bij onverschillig welke storing in het beveiligingssysteem zelf. De betrouwbaarheid eist dan ook dat dit systeem zo eenvoudig en robuust mogelijk is, en om deze reden is het niet goed te combineren met de andere kanalen. Ter vergroting van de betrouwbaarheid is het beveiligingskanaal dubbel uitgevoerd.

d) Bij zeer zwakke neutronenflux (minder dan 10^{-5} maal de maximumflux) zou een opnemer zoals gebruikt voor normale flux, een zo

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

geringe stroom leveren dat deze moeilijk voldoende nauwkeurig te meten zou zijn. Toch is dit noodzakelijk, alleen al wegens het feit dat ook bij zwakke flux de periode niet te kort mag worden en men het verloop van deze grootheid dus onafgebroken moet volgen. Vandaar dat een afzonderlijk kanaal, met opnemer en versterker van afwijkend type, aanwezig is voor het meten van kleine fluxwaarden.

Deze overwegingen hebben geleid tot de volgende vijf kanalen voor het meten van de neutronenflux:

1) Meetkanaal voor zwakke flux, met logaritmische meter, registratie en periodemeter.
2) Meetkanaal voor sterke flux, met logaritmische meter, registratie en periodemeter.
3) Meetkanaal voor sterke flux, met lineaire meter en registratie; tevens gebruikt voor automatische regeling.
4) en 5) Twee identieke beveiligingskanalen, waarbij de nadruk is gelegd op betrouwbaarheid.

De opnemer (*A* in *fig. 6*) bevindt zich in de reactorkern en is aangesloten op een lineaire impulsversterker *B*. Hierin worden de stroomstoten omgezet in spanningsimpulsen, die 30 000 maal worden versterkt. De versterker is zo dicht mogelijk bij de opnemer opgesteld om de capaciteit van de verbindingskabel klein te houden.

De uitgangsimpulsen, met een amplitude van enige volts, worden toegevoerd aan de logaritmische impulsdichtheids- en periodemeter *C* („log. C.R. & P." = „logarithmic counting-rate and period meter"). Hierin worden ze door een discriminator („Schmitt-trigger") gescheiden van de veel kleinere parasitaire impulsen (afkomstig van alfadeeltjes, in de splijtingskamer ontstaan bij radioactieve desintegratie van bepaalde splijtingsprodukten) en omgezet in impulsen van gestandaardiseerde amplitude en duur. Vervolgens wordt uit deze standaardimpulsen een gelijkspanning V_1 afgeleid die evenredig is met de logaritme van het aantal impulsen per seconde,

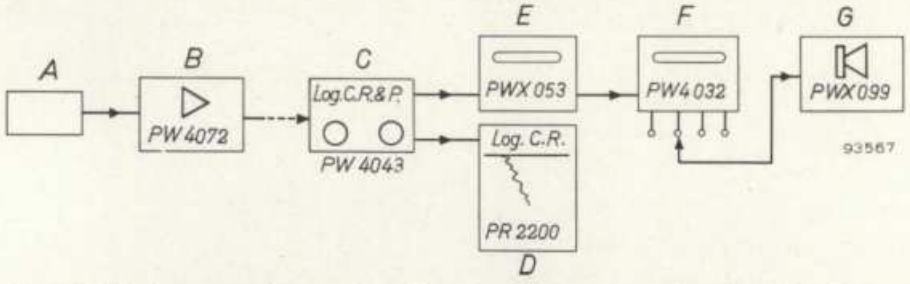

Fig. 6. Blokschema van het meetkanaal voor zwakke neutronenflux. *A* splijtingskamer. *B* impulsversterker. *C* logaritmische impulsdichtheids- en periodemeter. *D* registrerende automatische meetbrug. *E* tijdschakeling. *F* impulsenteller. *G* luidsprekerpaneel.

In deze volgorde worden zij hieronder besproken. Daarna komen nog aan de beurt: het meten van de temperatuur, de indicatie van de stand van de regelstaaf en van de veiligheidsstaven, het meten van de gammastraling, en het automatisch regelen van de reactor.

Het meetkanaal voor zwakke neutronenflux

De opnemer voor zwakke neutronenflux is een zg. splijtingskamer (van Amerikaans fabrikaat), d.i. een telbuis waarvan de binnenwand bedekt is met splijtbaar materiaal, i.c. uranium. Bij elke splijting van een uraniumkern door een neutron ontstaan geladen deeltjes, zowel als gevolg van de optredende gammastraling als doordat de splijtingsfragmenten zeer snelle ionen zijn. (Van de 92 elektronen die om de kern van het U-atoom lopen, komen er bij splijting van de kern ca. 40 vrij; de splijtingsfragmenten zijn dus ionen met elk ca. 20 positieve elementaire ladingen.) Dit maakt dat de telbuis bij iedere splijting een stroomstoot geeft.

dus met de neutronenflux N (in deel II worden methodes besproken voor het verkrijgen van dit logaritmische verband). De spanning V_1 wordt zowel aangewezen op een voltmeter als geregistreerd door een automatische meetbrug (*fig. 7*), beide met een logaritmische schaal van 1 tot 10^4 impulsen per seconde. Uit V_1 leidt een differentiërende versterker een spanning V_2 af die evenredig is met

$$\frac{1}{N}\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t},$$

dus met de relatieve verandering van de neutronenflux per seconde. V_2 is derhalve omgekeerd evenredig met de periode T (de tijd waarin de flux een factor e groter wordt). V_2 doet een meter uitslaan waarop T direct in seconden afleesbaar is. In *fig. 8* is het paneel van de logaritmische impulsdichtheids- en periodemeter afzonderlijk afgebeeld.

Het eigenlijke tellen gebeurt door middel van vijf decimale telbuizen E 1 T [2]), gemonteerd op

[2]) A. J. W. M. van Overbeek, J. L. H. Jonker en K. Rodenhuis, Philips techn. T. **14**, 349, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het paneel PW 4032 (fig. 3). Een fluorescerende lichtstip op de ballon van elk dezer buizen wijst een cijfer aan, en dit correspondeert met resp. de tienduizendtallen, duizendtallen, honderdtallen, tientallen en eenheden van het aantal impulsen dat in een bepaald tijdsverloop is geteld. Behalve de directe indicatie in het tientallig stelsel, is een voordeel van dit apparaat dat het zeer snel kan tellen (scheidend vermogen 0,5 μs) [3]).

hoeveel splijtingsimpulsen er in de gekozen tijd zijn geteld. Deze tijd, bepaald door het aantal hulpimpulsen, is in stappen regelbaar van 5 tot 2000 seconden (knop rechts in fig. 9). Op deze wijze kunnen zeer kleine waarden van de neutronenflux nog nauwkeurig worden gemeten.

Ten slotte noemen wij nog het luidsprekerpaneel PW X099 (fig. 3 en fig. 6). Men kan hiermee naar keuze ofwel alle impulsen die op paneel PW 4032

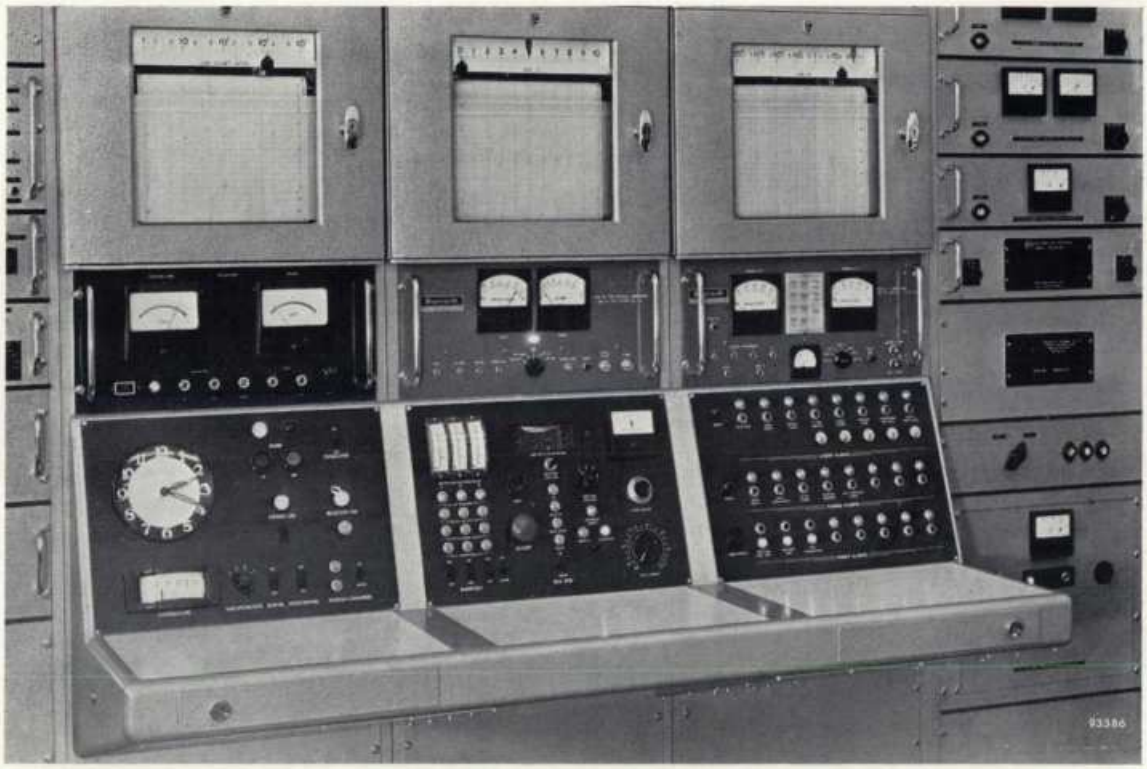

Fig. 7. Middendeel van de installatie (vgl. fig. 3). De drie registrerende meters bovenaan schrijven resp. (van links naar rechts): zwakke neutronenflux op logaritmische schaal („log. C.R."), sterke neutronenflux op lineaire schaal („lin. N"), en sterke neutronenflux op logaritmische schaal („log. N"). Onder de registrerende meters de bijbehorende panelen met aanwijzing van flux, periode en vermogen.
Schuin staande panelen: onder de klok een temperatuurmeter; op het middelste paneel aanwijzing van de stand van veiligheidsstaven en regelstaaf; op het rechtse paneel signaallampjes.

Het tijdsverloop gedurende hetwelk geteld wordt, is instelbaar door middel van het paneel PW X053 (*fig. 9*). Dit bevat twee zg. poortschakelingen. Met een drukknop kunnen deze tegelijk opengezet worden. De ene poort laat dan de te tellen impulsen tot de bovengenoemde telschakeling PW 4032 toe; via de andere poort vinden uit de netspanning afgeleide hulpimpulsen (50 per seconde) toegang tot een soortgelijke telinrichting op het paneel PW X053. Zodra een tevoren ingesteld aantal hulpimpulsen is bereikt, sluit de tweede telinrichting beide poorten. Op het eerste stel telbuizen leest men dan af

worden geteld, hoorbaar maken, ofwel alleen elke 10e, 100e of 1000e impuls. Tijdens het op gang brengen van de reactor, wanneer de neutronenflux nog zwak is, moet degene die de installatie bedient, op enige meters tegelijk letten, en daarbij is een hoorbaar signaal zeer praktisch gebleken. Een verandering in de gemiddelde snelheid waarmee de impulsen op elkaar volgen, hoort men direct; een te snel toenemende impulsdichtheid betekent een te korte periode, waarbij onmiddellijk ingrijpen noodzakelijk is.

Het bedienend personeel stelt het hoorbare signaal zo op prijs dat het ook bij sterke neutronenflux gaarne gebruik

[3]) E. J. van Barneveld, Philips techn. T. **16**, 313, 1954.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

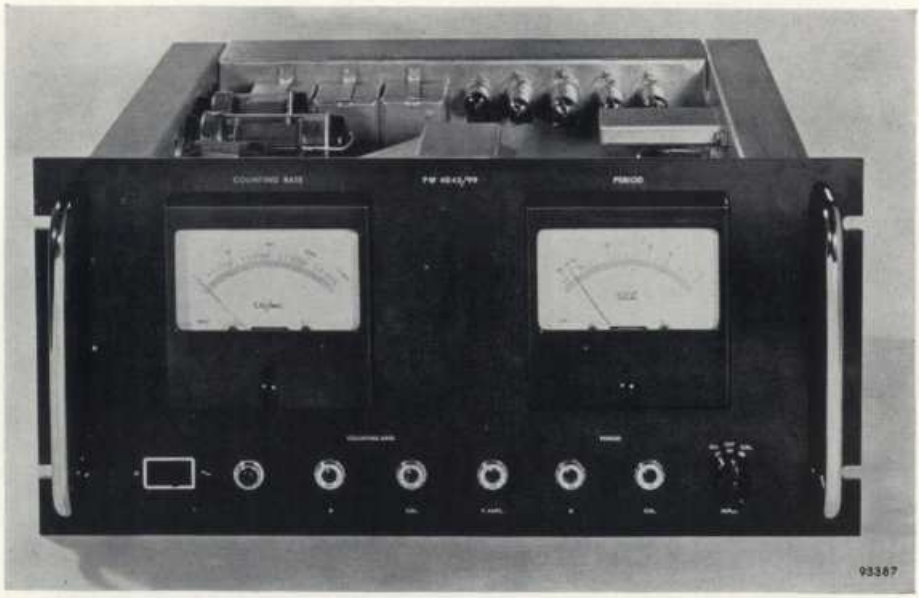

Fig. 8. Logaritmische impulsdichtheids- en periodemeter PW 4043 voor zwakke neutronenflux. De meter links wijst het aantal impulsen per seconde aan (schaal 1 tot 10^4), de meter rechts de periode in seconden (schaal van —30 via ∞ tot 3 seconden; vgl. fig. 10).

maakt van het meetkanaal voor zwakke flux (alleen dit is namelijk van een inrichting voor hoorbaar signaal voorzien). De splijtingskamer wordt dan door omhoogtrekken zo ver van de reactor verwijderd dat de impulsdichtheid tot een bruikbare waarde is gedaald.

Het logaritmische meetkanaal voor sterke neutronenflux

In tegenstelling met de meting van zwakke neutronenflux worden bij sterke flux geen impulsen geteld, maar meet men de gemiddelde gelijkstroom van een ionisatiekamer. Juister gezegd: men meet de verschilstroom van de twee delen van een dubbele ionisatiekamer (van Amerikaans fabrikaat). Slechts één van deze delen is gevoelig voor neutronen, doordat zijn wand bedekt is met boriumcarbide, maar beide zijn (in dezelfde mate) gevoelig voor gammastraling, die in de reactorkern een aanzienlijke sterkte heeft. Door de verschilstroom te nemen, compenseert men het storende effect van de gammastraling; deze stroom is dus evenredig met de neutronenflux.

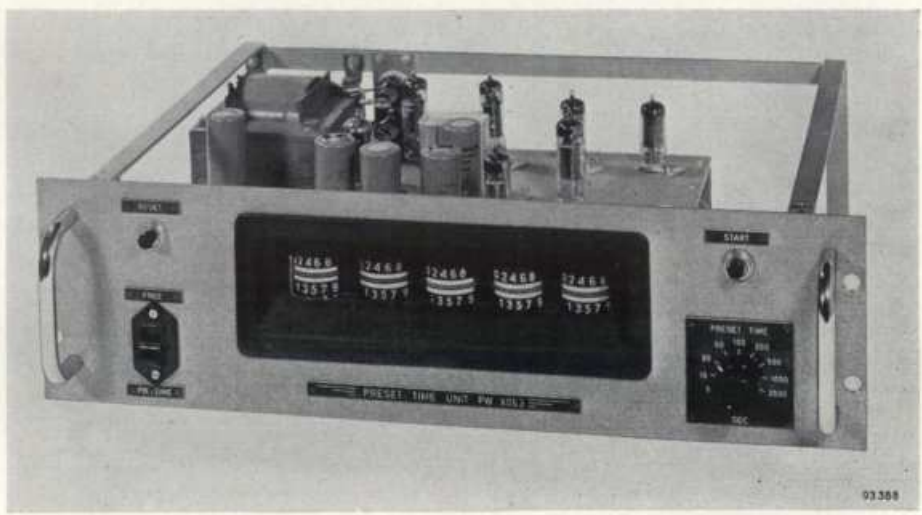

Fig. 9. Tijdpaneel PW X053 met vijf decimale telbuizen E 1 T. Als men drukt op de knop rechts boven, begint deze schakeling hulpimpulsen (50 per seconde) te tellen, en tegelijk begint het tellen van splijtingsimpulsen op paneel PW 4032. Hebben de hulpimpulsen een tevoren ingesteld aantal bereikt (corresponderend met een tijdsduur van 5 tot 2000 seconden, instelbaar met de knop rechts beneden), dan worden beide tellers automatisch stopgezet en kan men op die van paneel PW 4032 het aantal getelde splijtingsimpulsen aflezen. Met de schakelaar links beneden kan men de teller PW 4032 laten doortellen. De knop links boven dient om de teller PW X053 op nul te zetten.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De verschilstroom (50 μA bij het nominale vermogen) wordt toegevoerd aan de logaritmische neutronenfluxmeter (annex periodemeter) PW X081. Zoals in deel II uitvoerig zal worden behandeld, fungeert hierin als logaritmisch element de roosterkatoderuimte van een elektronenbuis in een speciale schakeling. Daarmee wordt over een zeer groot gebied (6 tot 7 decades) een spanning verkregen die vrijwel exact evenredig is met de logaritme van de verschilstroom. Na versterking ontstaat een spanning die op een meter wordt aangewezen en tevens geregistreerd („log. N recorder"). De schaal, geijkt in %, loopt van 10^{-4} % tot 300 %, corresponderend met verschilstromen van 5×10^{-11} A tot $1{,}5\times10^{-4}$ A. De eerste decade (10^{-4} tot 10^{-3} %) van dit instrument valt samen met de laatste decade (10^{3} tot tot 10^{4} impulsen per seconde) van de meter voor zwakke neutronenflux.

Evenals bij het kanaal voor zwakke flux, levert een differentiërende versterker een spanning die omgekeerd evenredig is met de periode T, welke direct in seconden afleesbaar is (*fig. 10*).

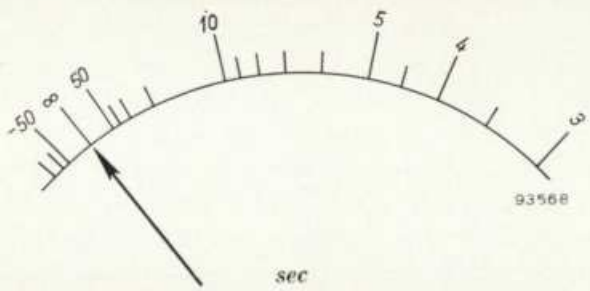

Fig. 10. Schaal van de periodemeter voor sterke neutronenflux. Als de reactor stationair werkt, staat de wijzer op oneindig. Positieve uitslag betekent toenemende reactiviteit, negatieve uitslag betekent afnemende reactiviteit. Hoorbaar en zichtbaar vooralarm wordt gegeven wanneer T kleiner wordt dan 10 seconden, „fast scram" wanneer T daalt beneden 3 seconden.

Als voedingsspanningen voor de ionisatiekamers zijn nodig een positieve gelijkspanning van 600 V ten opzichte van aarde, en een negatieve van max. 350 V ten opzichte van aarde, de laatste regelbaar in stappen van ca. 35 V. Beide spanningen zijn gestabiliseerd en worden geleverd door de voedingspanelen PW X023.

Het lineaire meetkanaal voor sterke neutronenflux

Door het grote gebied dat zij bestrijken, zijn de logaritmische kanalen bij uitstek geschikt om dienst te doen bij het op gang brengen van de reactor en om snel ruwweg een indruk te geven van de momentele waarde van de neutronenflux; bovendien zijn ze nodig voor de periodemeting. Het lineaire kanaal echter, dat hier 18 meetgebieden heeft, is te verkiezen voor nauwkeurige meting, en ook als basis voor de automatische regeling.

Uitgegaan wordt van een gecompenseerde ionisatiekamer van hetzelfde type als bij het logaritmische kanaal voor sterke neutronenflux. De stroom van deze opnemer wordt geleid door een meetweerstand van hoge weerstandswaarde. Ter overbrugging van het traject van $6\frac{1}{2}$ decade zijn 18 meetweerstanden, met waarden opklimmend in de verhouding 1, 2, 5, 10, ... (maximumwaarde 10^{9} ohm), samen met een zeer goed geïsoleerde schakelaar ondergebracht in een magnetisch en elektrisch afschermende doos. De schakelaar kan worden bediend vanaf de lessenaar.

De spanning over de meetweerstand wordt gemeten met behulp van een trillende condensator [4]) en een versterker (paneel PR 7500), gecombineerd met een automatische meetbrug (registrerende potentiometer, PR 2201). De lineaire schaal van deze „lin. N recorder" loopt van 0 tot 10,0 (fig. 7).

Het beveiligingskanaal

Zoals al werd opgemerkt, is de beveiliging van de reactor zoveel mogelijk gescheiden gehouden van de overige meetapparatuur ter wille van een maximale betrouwbaarheid, en wordt verlangd dat de veiligheidsstaven niet alleen vallen wanneer er in de reactor iets mis is, maar ook bij vrijwel iedere denkbare storing in de beveiligingsinstallatie zelf. Daar elke keer dat de staven vallen, ongemak en tijdverlies ontstaan, dient anderzijds de kans dat dit zonder werkelijke noodzaak gebeurt, tot het uiterste te worden beperkt. Bij het ontwerpen van de beveiligingsinstallatie moet men dus streven naar een zo klein mogelijk aantal onderdelen; deze moeten robuust en van zeer goede kwaliteit zijn. Verder eist ook de loop van de bedrading veel overleg.

Als schakel tussen enerzijds een zeer robuuste ionisatiekamer, en anderzijds de relaiscontacten over welke de bekrachtigingsstroom van de elektromagneten loopt waaraan de veiligheidsstaven hangen, fungeert de zg. beveiligingsversterker. Deze zal uitvoerig worden beschreven in deel II. Zowel bij te sterke neutronenflux als bij inwendige storingen zet hij de reactor in de kortst mogelijke tijd stop („fast scram"). Hetzelfde gebeurt als de periode te kort wordt: een relais aangebracht op het „log. N en periode"-paneel PW X081 verbreekt de magneetstroom als T kleiner wordt dan 3 seconden. Dit gebeurt door middel van een relaiscontact in de gelijkstroomketen zelf, en tevens, als extravoorzorg, door een relaiscontact aan de wisselstroomzijde van de gelijkrichter die de magneetstroom levert.

---

[4]) Zie b.v. Philips techn. T. 7, 28, 1942.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Aan de wisselstroomzijde bevinden zich nog meer contacten, die eveneens bij bepaalde storingen de reactor stopzetten. Als gevolg van de energie die in de afvlakketen van de gelijkrichter is opgehoopt, wordt de magneetstroom minder snel nul bij openen van een wisselstroomcontact dan bij openen van een gelijkstroomcontact. Voor een aantal minder urgente gevallen (*tabel I*) is zulk een „slow scram" voldoende.

In de derde plaats zijn er een aantal relais die de reactor niet stopzetten, maar slechts een zichtbaar en soms ook een hoorbaar alarm geven. *Tabel II* geeft hiervan een overzicht (in Delft zal het aantal gevallen van „slow scram" en van alarmsignaal nog worden uitgebreid).

Op het rechter bedieningspaneel (fig. 7) wordt „veilig" gesignaleerd door het branden van groene, „onveilig" door het branden van rode lampjes. Deze dubbele signalering is ook weer gekozen als extrabeveiliging: mocht een rood lampje weigeren, dan waarschuwt het niet-branden van het bijbehorende groene lampje dat er iets niet in orde is. De bovenste rij lampjes op het paneel heeft betrekking op de „scram alarms", de tweede rij op de gevallen 1)...5) van tabel II (in deze gevallen wordt tevens een zoemersignaal gegeven). In de gevallen 6), 7) en 8) zijn de lampjes de enige indicatie; deze lampjes zijn in de onderste rij geplaatst.

Tabel I. Minder urgente gevallen waarin de reactor wordt stopgezet („slow scrams").

Geval	Orgaan dat de uitschakeling bewerkt
1) Uitschakeling met de hand	Drukknop op het middelste bedieningspaneel (fig. 7) en op enige punten rondom de reactor.
2) Te lage (of in het geheel geen) spanning op de gecompenseerde ionisatiekamers	Relais in elk der gestabiliseerde gelijkspanningsbronnen.
3) Te sterke gammastraling	Vier meter-relais in de gamma-indicator (zie deel II).
4) Uitslag „log. C.R.": a) <2 (door defect in deze meter of doordat splijtingskamer te hoog is geplaatst)	Contactstrippen en relais in de „log. C.R. recorder".
b) $>10^4$, terwijl uitslag „log. $N"<2\times10^{-4}$ % (door defect in „log. N" of doordat splijtingskamer te laag is geplaatst)	Contactstrippen en relais in de „log. C.R. recorder" en in de „log. N recorder".
5) Uitslag „log. $N"$ >150% (neutronenflux te sterk)	Contactstrippen en relais in de „log. N recorder".
6) Eén of meer van de veiligheidsstaven hangen niet aan hun elektromagneet	Aan de magneten bevestigde contacten, die alleen gesloten zijn als de staven eraan hangen.

Tabel II. Gevallen waarin de reactor niet wordt stopgezet, maar wel een hoorbaar en zichtbaar alarmsignaal wordt gegeven (gevallen 1...5) of alleen een zichtbaar signaal (gevallen 6, 7 en 8).

Geval	Orgaan
1) $T<10$ s (vooralarm voor $T<3$ s)	Relais in de periodeversterker (zie deel II).
2) Grote regelafwijking in het servomechanisme	Relais in het regelkanaal.
3) Vermogen overschrijdt 110 % van het nominale (vooralarm voor 150 %)	Als (5) in tabel I.
4) Bijstellen van de stelstaven noodzakelijk, omdat de regelstaaf buiten zijn regelgebied komt	Contact langs de baan van de regelstaaf.
5) Storing in de voeding van de servomotoren	Relais in het regelkanaal.
6) Te hoge temperatuur van het water bij de demineralisator	Thermoschakelaar in de demineralisator.
7) Te hoge temperatuur van het water in het bassin	Thermoschakelaar in het bassin
8) Te veel ionen in het water	Relais in een brug die het geleidingsvermogen van het water meet.

Andere metingen

Temperatuurmetingen

Hoewel bij de grote hoeveelheid water (50 m³) en het kleine vermogen (max. 10 kW op de tentoonstelling) het water nauwelijks in temperatuur kon stijgen, werd toch op enige plaatsen in het water de temperatuur gemeten. Van meer belang zal deze meting worden wanneer het vermogen wordt opgevoerd tot 100 kW; de „neutronenhuishouding" in een reactor is namelijk sterk afhankelijk van de temperatuur (de vermenigvuldigingsfactor k van de neutronen heeft een negatieve temperatuurcoëfficiënt).

De meting gebeurt door middel van weerstandsthermometers, bestaande uit een platinadraad (100 ohm) in een omhulling van niet-roestend staal, die waterdicht is gesoldeerd aan de loodmantel van de verbindingskabel. De platinadraad is opgenomen in een brugschakeling, waarvan de uitgangs-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

spanning, na versterking, een meter doet uitslaan die in °C is geijkt. Men ziet deze meter in fig. 7 onder de klok. Rechts van de meter bevindt zich de knop voor het overschakelen op verschillende thermometerelementen; links van de meter het paneel PR X010 met de brugschakeling en de versterker.

Indicatie van de positie van de staven

Het is wenselijk dat op de bedieningslessenaar de positie van de regelstaaf en de veiligheidsstaven kan worden afgelezen. Dit zal ook van nut zijn bij experimenten betreffende de gevoeligheid van de regeling bij verschillende standen van de staven.

De bedoelde indicatie is verkregen doordat elk der staven mechanisch is gekoppeld met het glijcontact van een nauwkeurige potentiometer („Helipot"), die aangesloten is op een bron van constante spanning. De spanning tussen het glijcontact en een referentiepunt (overeenkomend met de laagste stand van de staaf) wordt gemeten met een voltmeter. Op het middelste schuine paneel in fig. 7 ziet men in de linkerbovenhoek de drie voltmeters die de standen van de veiligheidsstaven aanwijzen.

De aflezing op deze voltmeters is niet voor alle gevallen nauwkeurig genoeg, zeker niet voor de regelstaaf. Daarom is bovendien aangebracht een elektronische voltmeter van het „digitale" type (met verspringende cijfers; fabrikaat Non-Linear Systems), met een eigen potentiometer. Deze digitale meter is in fig. 7 te zien onmiddellijk rechts van de drie voltmeters; hij geeft de aflezing direct in vier cijfers. In de regel wordt hiermee continu de stand van de regelstaaf geïndiceerd, maar door middel van een drukknop en een schakelaar kan men met dit instrument ook de stand van elk der veiligheidsstaven en van de splijtingskamer voor zwakke neutronenflux aflezen.

Gamma-indicator

Bij de demineralisator en op twee plaatsen boven het wateroppervlak is een speciale ionisatiekamer met elektrometerbuis opgesteld. De schakeling is zodanig dat een logaritmische aanwijzing van de doseringssnelheid der gammastraling ter plaatse van de ionisatiekamer wordt verkregen. Het meetinstrument waarop deze grootheid afleesbaar is, ziet men links in fig. 3. Voor verdere bijzonderheden verwijzen wij naar deel II.

Automatische regeling van de kernreactor

Het ontwerp van de onderhavige kernreactor voorziet in de mogelijkheid, de neutronenflux (en daarmee het vermogen), nadat deze met de hand op de gewenste waarde is gebracht, automatisch op die waarde te handhaven. In tegenstelling met sommige reactors van groot vermogen, geschiedt het op gang brengen hier niet automatisch, maar op de volgende wijze.

Men begint met „uit de hand" (d.w.z. met een schakelaar die de servomotoren bedient) de veiligheidsstaven omhoog te brengen. Daarbij moet men op de neutronenflux- en periodemeters letten om te zien of de staven niet te vlug omhoog komen. Pas als ze zo hoog zijn gekomen dat k bijna 1 is geworden, gaat men voorzichtig de regelstaaf omhoog brengen. Aanvankelijk slaat alleen de meter voor zwakke neutronenflux uit, als gevolg van de werkzaamheid van een kunstmatige neutronenbron, die de eerste neutronen levert. Naarmate de regelstaaf hoger komt, worden minder neutronen geabsorbeerd en gaat ook de bijbehorende periodemeter een uitslag vertonen.

Met het omhoog komen van de regelstaaf wordt de vermenigvuldigingsfactor k van de neutronen, die aanvankelijk ca. 0,9 was, groter en groter, ten slotte groter dan 1: de kettingreactie in het uranium komt op gang. Nu neemt de neutronenflux spontaan toe, dus ook zonder dat men de regelstaaf verder ophijst, en de meter voor sterke neutronenflux begint ook uit te slaan. Door minimale verplaatsingen van de regelstaaf kan men de snelheid waarmee de flux toeneemt, iets wijzigen en zo ervoor zorgen dat de flux minder dan b.v. 5% per seconde groter wordt (periode langer dan 20 seconden).

In ca. 10 minuten kan men op deze wijze de neutronenflux op de gewenste waarde brengen. Is deze bereikt, dan laat men de regelstaaf zo ver dalen dat k juist 1 is (de periodemeter wijst dan oneindig aan en de impulsdichtheidsmeter schrijft een constante waarde). In de praktijk is het niet mogelijk, deze toestand exact te handhaven. Wel kan men hem zo dicht benaderen dat slechts met lange tussenpozen de regelstaaf iets versteld behoeft te worden (waarbij men steeds op de instrumenten moet letten).

Dit eentonige werk kan beter worden toevertrouwd aan een automatische regelaar. Deze is als volgt ingericht.

De schrijver van het instrument dat de neutronenflux op lineaire schaal registreert, is mechanisch gekoppeld met het glijcontact van een potentiometer. Deze vormt met een tweede potentiometer een brugschakeling. De tweede potentiometer wordt met de hand ingesteld al naar het gewenste vermogen. De uitgangsspanning ε van de brug is dus een maat voor het verschil tussen de heersende neutronenflux en die welke met het gewenste ver-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

mogen correspondeert. In principe werkt de regeling zo dat de spanning ε wordt toegevoerd aan een versterker die een met ε evenredige wisselspanning produceert; deze wisselspanning bekrachtigt één faze van een tweefazige servomotor, die de regelstaaf in de juiste richting doet bewegen.

In werkelijkheid is de schakeling van de hiervoor ontworpen versterker (PR X083) iets gecompliceerder. Er is namelijk niet alleen een tegenkoppeling, die lineair afhankelijk is van de stand van de regelstaaf, maar in de versterker zijn bovendien een differentiërend en een integrerend element aangebracht. De betrekking tussen de verplaatsing x van de regelstaaf, het spanningsverschil ε en de tijd t is daardoor als volgt:

$$x = A\left[\varepsilon + \tau_d \frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{1}{\tau_i}\int \varepsilon dt\right],$$

waarin de factor A en de tijden τ_d en τ_i instelbare grootheden zijn. De differentiële term maakt het mogelijk dat de eindtoestand sneller kan worden bereikt zonder gevaar van instabiliteit, en aan de integraalterm is het te danken dat de gewenste toestand niet slechts bij benadering, maar exact wordt bereikt [5]).

Met de hierboven als „tweede" aangeduide potentiometer is het gewenste vermogen zeer nauwkeurig in te stellen doordat ook hier een „Helipot" draadpotentiometer is gebruikt. Er zijn tien omwentelingen van de knop nodig om het glijcontact langs de gehele weerstandsdraad te verplaatsen. De knop („Power demand") bevindt zich op het middelste schuine paneel (fig. 7).

In deel II worden de logaritmische neutronenflux- en periodemeter voor sterke flux, de gamma-indicator en de beveiligingsversterker uitvoeriger behandeld, aangezien deze onderdelen in bepaalde opzichten verschillen van de gangbare instrumenten voor hetzelfde doel.

Aanhangsel: Brandstofverbruik en reactieprodukten van een kernreactor

Zoals bekend, verbruikt een kernreactor uiterst weinig „brandstof". De volgende berekening moge dit nog eens aantonen.

Eén gramatoom U^{235}, 235 gram dus, bevat $6{,}02\times10^{23}$ atomen (getal van Avogadro). Eén gram U^{235} bevat derhalve $6{,}02\times10^{23}/235 = 2{,}56\times10^{21}$ kernen U^{235}, en deze leveren bij splijting $2{,}56\times10^{21}\times3{,}2\times10^{-11} = 8{,}2\times10^{10}$ joule $= 8{,}2\times10^{7}/60^2$ kWh $= 2{,}28\times10^{4}$ kWh. Het opwekken van b.v. 100 kW (in de vorm van warmte) gedurende één etmaal vraagt dus slechts $2400/(2{,}28\times10^4) \approx 0{,}1$ gram U^{235}. Voor het opwekken van dezelfde hoeveelheid warmte door volledige verbranding van steenkool is 300 kg steenkool nodig.

Van de stoffen die in een kernreactor ontstaan, dienen in de eerste plaats de splijtingsprodukten te worden genoemd, d.z. de fragmenten waarin kernen U^{235} zijn uiteengevallen, en wat er verder uit deze fragmenten ontstaat. Een kern U^{235} kan op meer dan 45 manieren in twee stukken splijten, want meer dan 90 splijtingsfragmenten heeft men kunnen identificeren (waaronder de elementen 43 en 61 — technetium resp. promethium —, die in de natuur nooit zijn gevonden). De meeste splijtingsfragmenten zijn, door een teveel aan neutronen, niet stabiel. Deels worden deze neutronen, terwijl de kern een elektron (bèta-emissie) en eventueel een gammaquantum uitzendt, in de kern omgezet in protonen, deels komen ze, na een bèta-emissie, vrij als „vertraagde" neutronen (zie boven). Er zijn dikwijls ettelijke bèta-emissies nodig voordat een radioactief splijtingsfragment een stabiele kern is geworden. Twee voorbeelden van zulk een desintegratie in vier stappen met bèta-emissie zijn:

$$_{54}Xe^{140} \xrightarrow[\beta]{16\,s} {}_{55}Cs^{140} \xrightarrow[\beta]{66\,s} {}_{56}Ba^{140} \xrightarrow[\beta]{12{,}8\,d} {}_{57}La^{140} \xrightarrow[\beta]{40\,h} {}_{58}Ce^{140} \text{ (stabiel)},$$

$$_{36}Kr^{90} \xrightarrow[\beta]{33\,s} {}_{37}Rb^{90} \xrightarrow[\beta]{2{,}7\,min} {}_{38}Sr^{90} \xrightarrow[\beta]{19{,}9\,j} {}_{39}Y^{90} \xrightarrow[\beta]{61\,h} {}_{40}Zr^{90} \quad \text{(stabiel)}.$$

Een voorbeeld van een geval waarin een vertraagd neutron vrijkomt, is:

$$_{35}Br^{87} \xrightarrow[\beta]{55{,}6\,s} {}_{36}Kr^{87} \xrightarrow[n]{0} {}_{36}Kr^{86} \text{ (stabiel)}.$$

De halveringstijden zijn hierbij vermeld. Sommige zijn zo lang (b.v. 19,9 jaar bij Sr^{90}, zie de tweede reeks) dat het vraagstuk, waar men de splijtingsprodukten laat, zorgvuldig moet worden bestudeerd.

Een andere reeks omzettingen die in een uraniumreactor plaatsvinden, vangt aan met het absorberen van een neutron van 6,5 eV door een kern U^{238} (resonantie). Hierbij ontstaat $_{92}U^{239}$, en dit gaat door twee bèta-emissies, met neptunium ($_{93}Np^{239}$) als tussenprodukt, over in plutonium, $_{94}Pu^{239}$. Deze laatste stof kan langs chemische weg uit het mengsel van reactieprodukten worden afgescheiden en is dan als nieuwe kernbrandstof te gebruiken, daar kernen Pu^{239} door vangst van een neutron splijten onder afgifte van energie.

Tot besluit zij nog opgemerkt dat door het kleine vermogen van de reactor op „Het Atoom" de splijtingsprodukten geen moeilijk probleem vormden en dat de produktie van plutonium daar van geen betekenis was.

Samenvatting. De beschreven meet-, regel- en beveiligingsinstallatie behoort bij de experimentele kernreactor (van Amerikaans fabrikaat) die in de zomer van 1957 in werking is geweest op de tentoonstelling „Het Atoom" te Amsterdam en binnenkort zal worden overgebracht naar de Technische Hogeschool te Delft. Aan de beschrijving gaat een korte uiteenzetting van de werking van een kernreactor vooraf.

De installatie omvat de volgende meetkanalen voor de neutronenflux: een kanaal voor zwakke flux (met logaritmische schaal), twee kanalen voor sterke flux (één met logaritmische en één met lineaire schaal) en twee identieke beveiligingskanalen. De twee kanalen met logaritmische schaal zijn elk voorzien van een periodemeter, die de „periode" (tijdconstante) van de kernreactie direct in seconden aanwijst.

Verder bestaat de installatie nog uit inrichtingen voor het meten van de temperatuur van het water, aanwijzers van de stand van de regelstaaf en van de veiligheidsstaven, een indicator voor gammastraling, en een automatisch regelsysteem.

In een Aanhangsel wordt nog iets medegedeeld over het brandstofverbruik en de reactieprodukten van een kernreactor.

---

[5]) Zie b.v. H. J. Roosdorp, Beschouwingen over het regelen van industriële processen, Philips techn. T. **12**, 225-231, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

GASANALYSE AAN AFGESMOLTEN KATODESTRAALBUIZEN MET BEHULP VAN HET OMEGATRON

544.4:621.385.832:537.534.3

Ondanks zorgvuldig pompen en het gebruik van zeer werkzame gasbinders is het in de massafabricage van katodestraalbuizen niet doenlijk, verder te evacueren dan tot een druk van ca. 10^{-6} mm Hg. Bovendien komt na het afsmelten nog enig gas vrij, zowel spontaan uit verschillende onderdelen van de buis als door elektronenbombardement van het fluorescentiescherm en van eventuele metalen diafragma's. Het kleine gedeelte van dit gas dat niet door de gasbinder wordt opgenomen (restgas), kan schadelijk zijn doordat het de levensduur van de buis verkort, o.a. door „vergiftiging" van de katode [1]). Ten einde maatregelen te kunnen beramen ter vermindering van de hoeveelheid schadelijk restgas, zal men willen weten welke gassen in de buis voorkomen en uit welke onderdelen zij afkomstig zijn.

Een belangrijk hulpmiddel bij de analyse van het restgas is het type massaspectrograaf gebleken te zijn waaraan Hipple c.s. de naam omegatron hebben gegeven [2]). Tussen het omegatron en het cyclotron — hoe zeer ook verschillend in afmetingen — bestaat overeenkomst in zoverre dat in beide toestellen geladen deeltjes worden versneld in (min of meer) spiraalvormige banen. In het cyclotron gebeurt het versnellen twee maal per omwenteling, in de spleet tussen de twee D's [3]), in het omegatron daarentegen gebeurt het continu in een homogeen elektrisch wisselveld.

In *fig. 1* is het omegatron schematisch voorgesteld. Van de katode K naar de elektronencollector A loopt een nauwe elektronenbundel, evenwijdig met een magnetisch veld met inductie B. Onder en boven de bundel bevinden zich de platen C_1 resp. C_2, die verbonden zijn met een generator G van hoogfrequente spanning. De evenwijdige platte ringen D tussen de platen zijn aangesloten op aftakkingen van een spanningsdeler P, zodanig dat

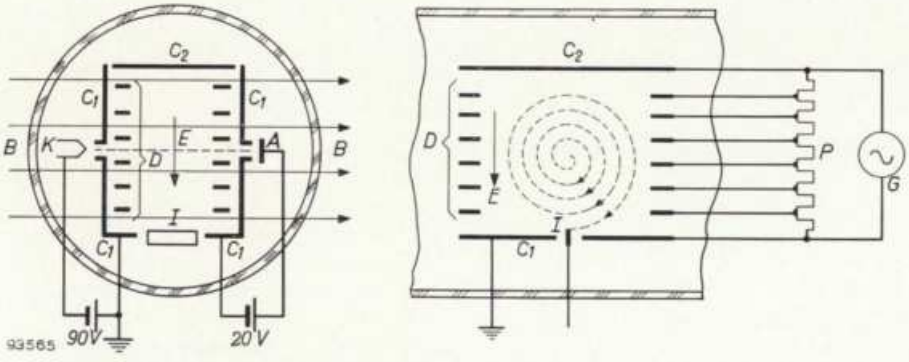

Fig. 1. Schematische doorsnede van een omegatron. K katode (direct verhit wolfraamdraadje). A elektronencollector. C_1, C_2 platen waartussen de hoogfrequente spanning van de generator G staat. D platte metalen ringen, aangesloten op aftakkingen van de spanningsdeler P; de ringen zorgen voor homogeniteit van het elektrische wisselveld E in de ontladingsruimte. B constante magnetische inductie. I ionencollector.

in de ontladingsruimte een vrijwel homogeen elektrisch wisselveld $E_0 \sin \omega t$ heerst. De ballon van het omegatron staat in verbinding met het vat of de buis waarvan men het restgas wil onderzoeken.

Door botsing met de moleculen van het restgas vormt de elektronenbundel van het omegatron ionen, en wel vrijwel uitsluitend positieve. Onder invloed van het elektrische wisselveld worden de ionen versneld in een vlak dat loodrecht op het magnetische veld staat. Voldoet de hoekfrequentie ω van het elektrische veld aan de voorwaarde

$$\omega = \frac{e}{M} B, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

(e = lading van het ion, M = massa van het ion), dan spreekt men van resonantie (eB/M wordt de resonantiefrequentie genoemd). In dit geval beschrijven de ionen een spiraal met gelijkmatig toenemende straal (spiraal van Archimedes) en

[1]) Zie b.v. Philips techn. T. **18**, 149, 1956 (no. 5-6).

[2]) H. Sommer, H. A. Thomas en J. A. Hipple, The measurement of e/M by cyclotron resonance, Phys. Rev. **82**, 697-702, 1951.

[3]) Zie b.v. Philips techn. T. **12**, 67, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

kunnen ze, na een zeker aantal omwentelingen te hebben gemaakt, worden opgevangen op een geschikt geplaatste ionencollector *I*. Ionen met een andere verhouding e/M daarentegen kunnen niet een zo grote uitwijking krijgen dat ze de ionencollector bereiken. Door de frequentie van het elektrische veld geleidelijk te variëren, kan men achtereenvolgens de aanwezigheid van verschillende ionen nagaan.

Sinds 1953 zijn bij Philips met het omegatron kwalitatieve analyses verricht aan de restgassen in weergeefbuizen [4]). Gebruikt wordt een omegatron waarmee bij $B = 0{,}5$ Wb/m² de aanwezigheid van (enkelvoudig geladen) ionen met een massa tot ca. 50 kan worden geconstateerd (de belangrijkste ionen hebben een massa van omstreeks 16, de zwaarste zijn die van CO_2, met massa 44, en van bepaalde koolwaterstoffen, met massa's van 44 tot 58). Dank zij zijn eenvoudige constructie en kleine afmetingen (*fig. 2*) kan het omegatron via een kort glazen buisje worden verbonden met de ballon van een nog te fabriceren weergeefbuis en daarmee na het afsmelten verbonden blijven (*fig. 3*).

De apparatuur is verder als volgt. De hoogfrequente spanning wordt betrokken van een normale

[4]) Vóór het ter perse gaan van deze mededeling is elders over hetzelfde onderwerp gepubliceerd: J. S. Wagener en P. T. Marth, Analysis of gases at very low pressures by using the omegatron spectrometer, J. appl. Phys. **28**, 1027-1030, 1957 (no. 9). De resultaten stemmen in grote lijnen met de onze overeen.

Fig. 2. Een van de gebruikte omegatrons.

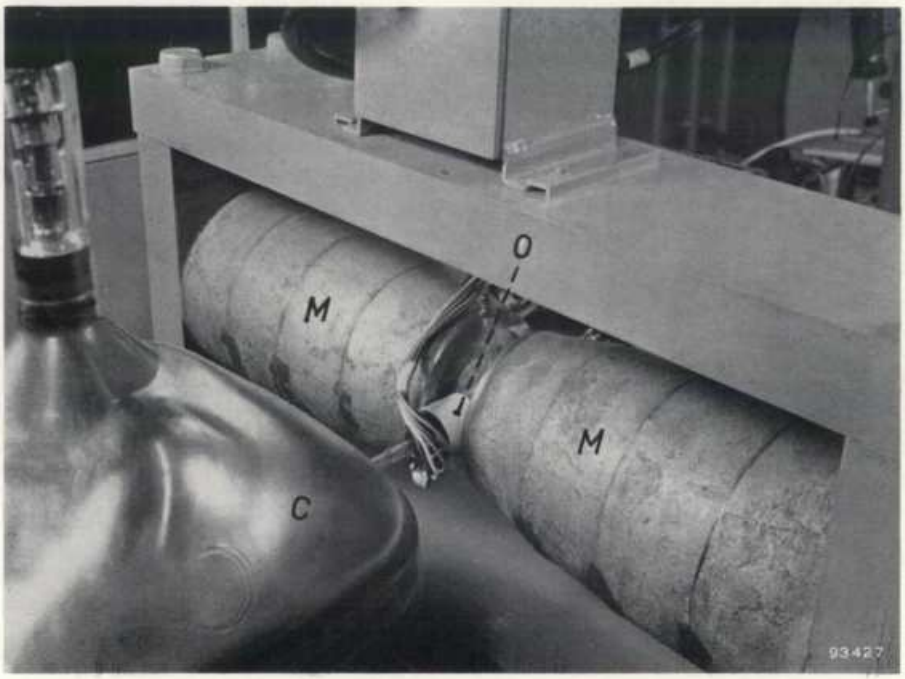

Fig. 3. Een omegatron *O*, verbonden met een weergeefbuis *C*, tussen de polen van een permanente magneet *M*, die het constante magneetveld levert.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

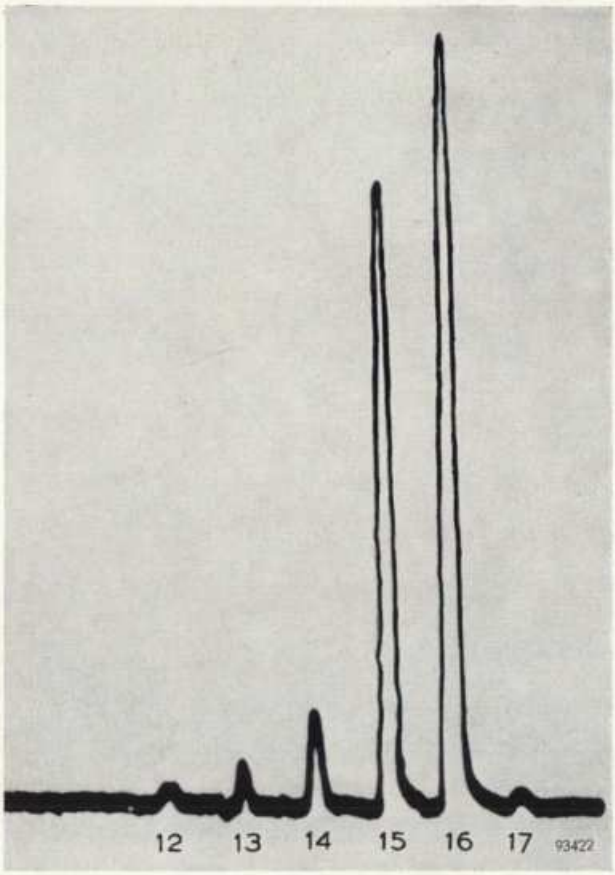

Fig. 4. Voorbeeld van een spectrogram. De toppen treden op bij frequenties die volgens (1) corresponderen met $M = 12$, 13, 14, 15, 16 en 17 (e = 1 elementaire lading) en zijn vrijwel geheel toe te schrijven aan resp. C^+, CH^+, CH_2^+ CH_3^+, CH_4^+ en $C^{13}H_4^+$.

signaalgenerator. De knop hiervan voor het instellen van de frequentie wordt door een motortje langzaam gedraaid, zodat de frequentie een bepaald gebied doorloopt. Meegedraaid wordt een potentiometer, die een regelmatig oplopende gelijkspanning levert; deze spanning is een maat voor de frequentie en veroorzaakt de horizontale uitslag op een katodestraaloscillograaf. De stroom van de ionencollector loopt door een weerstand van 10^{11} ohm; de spanning die hierover ontstaat, geeft, na versterking, de verticale uitslag. Op de oscillograaf beschrijft de lichtstip een kromme die een piek vertoont bij elke frequentie die volgens (1) overeenkomt met de massa M van aanwezige ionen.

Hieronder geven wij enige resultaten van het onderzoek. De voornaamste restgassen die in weergeefbuizen zijn gevonden, zijn de volgende:

1) Methaan. Dit gas is in elke onderzochte buis aangetroffen. De hoge piek bij $M = 16$ in het spectrogram *fig. 4* is afkomstig van CH_4^+-ionen, de lagere pieken bij $M = 15 \ldots 12$ van fragmenten van CH_4, namelijk ionen CH_3^+, CH_2^+, CH^+ resp. C^+. Het piekje bij $M = 17$ is toe te schrijven aan CH_4^+ met het koolstofisotoop C^{13}. De methaandruk daalt bij elektronendoorgang in de weergeefbuis, maar loopt tijdens rustperiodes weer enigszins op.
2) Argon. Ook dit gas is in iedere onderzochte buis gevonden, echter pas na het verdampen van de gasbinder.
3) Al naar de wijze waarop de buis is vervaardigd en naar de materialen die erin zijn gebruikt, treden nog andere restgassen op. Het meest komen voor: waterstofgas, koolmonoxyde, kooldioxyde en andere koolwaterstoffen dan CH_4.

Een voorbeeld van een geval waarin men CO en CO_2 kan verwachten, zijn de buizen waarin het fluorescentiescherm aan de vacuümzijde is bedekt met een reflector van dun aluminium, die tot taak heeft, het binnenwaarts uitgestraalde fluorescentielicht naar buiten te kaatsen. Verdampt men in zulk een buis opzettelijk te weinig barium als gasbinder, dan treedt later, tijdens het werken van de buis, een drukverhoging op; deze blijkt te worden veroorzaakt door CO en (in mindere mate) door CO_2. Zeer waarschijnlijk ontstaan deze gassen in dit geval voornamelijk wanneer minimale resten van het nitrocellulosevlies, dat als onderlaag voor het aluminium heeft gediend en daarna door uitstoken is verwijderd [5]), door elektronen worden getroffen.

Onderzoekingen worden verricht om het omegatron en de bijbehorende apparatuur ook geschikt te maken voor kwantitatieve analyse.

J. PEPER.

---

[5]) J. de Gier, Philips techn. T. **10**, 134, 1948.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ELEKTRONISCHE MUZIEK

door H. BADINGS *) en J. W. de BRUYN.

789.983:621.395.625.3:
681.84.087.27

*Men spreekt wel eens van „elektronische muziek" wanneer composities, geschreven voor conventionele muziekinstrumenten, uitgevoerd worden met behulp van elektronische toestellen, zoals het Hammond-orgel, de Ondes Martenot, apparaturen voor klanksynthetisatie, enz. **). In de laatste jaren is men onder „elektronische muziek" iets geheel anders gaan verstaan: muziek waarvan de compositie zelf gebaseerd is op het gebruik van elektronische hulpmiddelen, vooral van de magnetische registratie. Die hulpmiddelen kunnen op zodanige wijze worden toegepast dat geheel nieuwe klanken ontstaan, die het Hammond-orgel evenmin als enig conventioneel instrument zou kunnen opwekken.*

Op het gebied van deze elektronische muziek is de Nederlandse componist Henk Badings een der vooraanstaande figuren. Zijn radiofonische opera „Orestes", waarin elektronische hulpmiddelen reeds een grote rol spelen, werd in 1954 bekroond met de Prix Italia en inmiddels al meer dan 200 maal uitgevoerd. In de balletmuziek „Kain en Abel" — de première van dit ballet vond plaats in mei 1956 in Den Haag — heeft hij zich vrijwel uitsluitend van elektronische hulpmiddelen bediend. Aan het besluit tot een dergelijk experiment is zeker het feit niet vreemd dat Badings (die een ingenieursopleiding te Delft heeft genoten) steeds grote belangstelling voor technische en in het bijzonder akoestisch-technische problemen heeft gehad.

Het tamelijk omvangrijke elektronische instrumentarium dat voor het realiseren van „Kain en Abel" nodig was, werd aan Badings ter beschikking gesteld in het Natuurkundig Laboratorium van Philips te Eindhoven. Hier is de partituur van deze balletmuziek, door samenwerking van de beide schrijvers van dit artikel, gerealiseerd en voor de uitvoering vastgelegd op de magnetische band. De gebruikte elektronische middelen worden in het onderhavige artikel nader beschreven. Een selectie van de met deze middelen te verkrijgen klanken kan de lezer beluisteren op een grammofoonplaat, die ter illustratie van dit artikel is vervaardigd en die de lezer in dit tijdschriftnummer zal aantreffen. De plaat geeft tevens als proeve een verkorte versie van de balletmuziek „Kain en Abel".

Gezien de afkeer van dogma's en de zucht tot „ontwikkeling" en vernieuwing, waardoor de westerse beschaving in onze eeuw wordt gekenmerkt, zal men zich niet erover verbazen ook in de hedendaagse muziek nieuwe geluiden te beluisteren — letterlijk en figuurlijk. Het nieuwe is hierbij tweeledig. Evenals in de poëzie, de beeldende kunst, enz. bespeurt men in de moderne muziek wel de negatieve tendentie van het niet-meer-erkennen van klassieke vormentaal en esthetische wetten. Anderzijds echter — en in dit opzicht vertoont de muziek een analogie

*) Ir. H. Badings, Bilthoven.

) Zie voor het Hammond-orgel en soortgelijke elektronische muziekinstrumenten: A. Douglas, The electronic musical instrument manual, Pitman & Sons, Londen 1957 (3e ed.). Voor klanksynthetisatie, zie H. F. Olson en H. Belar, Electronic music synthesizer, J. Acoust. Soc. Amer. **27, 595-612, 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

met de bouwkunst, waar zij al vaker mee vergeleken is —, constateert men in de moderne muziek een directe connectie met het meest opvallende element van onze beschaving: de ontwikkeling van de techniek. Een reeks hedendaagse componisten ziet men de moderne technische middelen te baat nemen om de uitdrukkingsmogelijkheden van de muziek te verruimen.

We kunnen ons hier niet verdiepen in de ontwikkelingsgang van deze nieuwe muziek. Wie daarover meer wil weten, kan in diverse boeken en tijdschriftartikelen inlichtingen vinden [1]). Hier zij echter opgemerkt dat de verschillende compositierichtingen die zich thans afgetekend hebben, op één essentieel punt overeenstemmen: zij bedienen zich van elektronische middelen, vooral van de magnetische registratie, om het door hen gekozen geluidsmateriaal om te vormen en te kneden tot iets geheel nieuws en eigens. We zouden daarom al deze compositierichtingen met de verzamelnaam „Elektronische Muziek" willen aanduiden [2]). De verschillen tussen de diverse richtingen, waarvan sommige, merkwaardig genoeg, aan een nieuwe dogmatiek het aanzijn hebben gegeven, kunnen we hier slechts aanstippen. Schaeffer in Frankrijk wenst het geluidsmateriaal van de componist voornamelijk te ontlenen aan „concrete" geluiden, zoals een stoomfluit, een donderslag, een lekkende dakgoot, een zucht, enz. enz., en verklaart alle traditionele muziektechniek taboe („Musique Concrète"). De „Studio des Kölner Rundfunks", waar Eimert en Stockhausen werken, wil uitsluitend elektronisch verwekte, synthetische klanken toelaten; bij het verwerken hiervan wil deze richting eveneens de traditionele muziektechniek, zoals die zich b.v. uit in melodie, ritme en harmonie, vermijden en in plaats daarvan de reeds door Schönberg (omstreeks 1924) ingevoerde zg. reeksentechniek toepassen. Van andere landen, waar men op dit gebied ook zeer actief is en waar men minder dogmatische neigingen heeft, noemen we hier de Verenigde Staten met Varèse, Luening en Ussachewsky, Italië met Maderna en Berio, en Nederland met o.a. Henk Badings (radiofonische opera „Orestes", Prix Italia 1954; balletmuziek „Kain en Abel"; filmmuziek „De Vliegende Hollander") en Ton de Leeuw (radiofonisch oratorium „Job", Prix Italia 1956). Het minder dogmatische komt bij deze componisten daarin tot uiting dat soms, zoals b.v. in de aangehaalde radiofonische werken, de elektronische middelen in combinatie met, of zelfs slechts als aanvulling van, traditionele muzikale middelen worden toegepast.

In dit artikel zullen wij het voornamelijk hebben over enkele technische aspecten van de Elektronische Muziek. Het ligt voor de hand dat deze muziek zich rijker zal kunnen ontplooien naarmate aan de fantasie van de componist een uitgebreider elektronisch instrumentarium ten dienste staat. Voor het componeren (en uitvoeren) van de balletmuziek „Kain en Abel", waarvan in mei 1956 de première plaatsvond, kon de componist beschikken over de uitrusting en de hulp der medewerkers van de Akoestische Groep van het Philipslaboratorium te Eindhoven. De belangrijkste van de in „Kain en Abel" gebruikte apparaten (*fig. 1*) worden hieronder beschreven.

De beschrijving wordt akoestisch geïllustreerd door klankvoorbeelden op een bij dit artikel gevoegde grammofoonplaat. De cijfers [..] in de tekst verwijzen hiernaar. Aanbevolen wordt, pas naar de plaat te gaan luisteren aan het slot van het artikel, waar nog een gecondenseerde toelichting bij de klankvoorbeelden wordt gegeven.

Technische hulpmiddelen van de Elektronische Muziek

De elektronentechniek komt bij de Elektronische Muziek in feite op drie manieren te pas: zij levert nieuwe klankbronnen, zij maakt een verwerking en omvorming van klanken mogelijk, en zij beheerst ten slotte de weergave van deze muziek. Voor ons betoog is het gemakkelijk om bij het einde te beginnen, dus eerst de weergave te bespreken.

De weergave

In het woord elektronische „weergave" komt tot uitdrukking dat men het voortbrengen van geluid via versterkers en luidsprekers kent als een middel ter reproduktie van muziek die op een andere plaats of op een andere tijd als oorspronkelijk geluid heeft geklonken. De appreciatie van zulk een „weergave" wordt voornamelijk bepaald door het criterium van de getrouwheid aan het origineel. De bekende tekortkomingen van de luidsprekerweergave in dit opzicht: ruisen, vervorming en concentratie-in-één-punt („gat-in-de-muur"-effect [3])) heeft

[1]) P. Schaeffer, A la recherche d'une musique concrète, Ed. du Seuil, Parijs 1952.
W. Meyer-Eppler, Elektrische Klangerzeugung, Dümmlers Verl., Bonn 1949.
H. Badings en A. Brandon, Concrete, elektronische en radiofonische muziek, Radio Electronica **4**, 144-147(+152), 1956 (no. 3).
F. K. Prieberg, Musik des technischen Zeitalters, Atlantis-Verlag, Freiburg 1956.

[2]) De waarschuwing is hier op zijn plaats dat van verschillende zijden afwijkende definities voor dit begrip worden gegeven.

[3]) Zie b.v. R. Vermeulen, Vergelijking tussen weergegeven en echte muziek, Philips techn. T. **17**, 191-197, 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 1. Gedeelte van de uitrusting waarmee in het Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven de Elektronische balletmuziek „Kain en Abel" werd vervaardigd. Op de tafel ziet men o.a. enige van de zeven toestellen voor magnetische registratie die hierbij te pas kwamen (waarvan soms vijf tegelijkertijd). Verder een reeks versterkers, een mengtafel, filters, metronomen, allerlei elektronische klankbronnen, luidsprekers, enz.

men door verbeteringen o.a. in de elektronenbuizen en in de registratiemethodes (magnetische registratie!) en door invoering van de stereofonische weergave zover weten te elimineren dat men een reproduktie thans zo goed kan maken dat zij vrijwel niet van het origineel te onderscheiden is. Nu aan de luidsprekerweergave niet meer het odium van het surrogaat behoeft te kleven, kan er meer nadruk vallen op het feit dat het „weergeven" via luidsprekers mogelijkheden biedt die het origineel niet heeft (zodat men liever van elektronisch „geven" dan „weergeven" zou moeten spreken).

Een dezer mogelijkheden berust erop dat men wat betreft de plaats van de geluidsbron(nen) over een ongekende vrijheid beschikt. Men heeft hiervan b.v. — nog geheel in het technische vlak blijvend — gebruik gemaakt om, door plaatsing van luidsprekers rondom de toehoorders in een ruimte en door geschikte voeding van deze luidsprekers met (elektronisch vertraagde) muziek, de akoestiek van de ruimte te verbeteren, zowel in de concertzaal zelf [4]) als bij de weergave van geregistreerde muziek. Een stap verder zou de componist in deze richting kunnen doen door verschillende delen van het klankbeeld van zijn partituur niet slechts van verschillende kanten en verschillende afstand op de luisteraar te laten inwerken — een generalisatie dus van de trompetter achter de coulisse in „Fidelio" —, maar bovendien hun een verschillend ruimtekarakter te geven. Alle overgangen tussen het zeer directe en droge, gerichte geluid van een trompet-in-de-open-lucht en het diffuse, richtingloze geluid van de gemeenschapszang in de kerk, kunnen hierbij worden gerealiseerd. Iets dergelijks werd bij uitvoeringen van „Kain en Abel" in Den Haag en Hannover inderdaad gedaan.

Praktisch uiterst belangrijk is een andere mogelijkheid van het elektronisch weergeven: in de elektronische schakels van de apparatuur heeft men de muziek — of deelklanken daarvan — voorhanden in een vorm waarin men haar sterkte buitengewoon gemakkelijk kan beïnvloeden, nl. door draaien aan een potentiometerknop (sterkteregelaar). Deze regeling, alsook het hiermee uitvoerbare mengen van deelklanken in elke gewenste verhouding, wordt reeds lang op grote schaal beoefend in de reproduktie van muziek door de omroep. In de begintijd van de omroep heeft er aan artistieke zijde zelfs enige bezorgdheid bestaan over de macht die de man aan de mengtafel werd gegeven om het klankbeeld van een muziekstuk te beïnvloeden. Een goede muzikale scholing van de menger waarborgt dat van die macht geen misbruik wordt gemaakt, maar van de bezorgdheid over een mogelijk misbruik is het slechts een kleine stap naar het besef van een mogelijk nuttig gebruik, dat de componist van dit technische hulpmiddel kan maken: Hij kan met de sterkteregelaar dynamische figuren aanbrengen in deelklanken waarbij dit anders onmogelijk is, b.v. in een uitstervend piano-akkoord [1]. Hij kan door een

[4]) R. Vermeulen, Stereonagalm, Philips techn. T. **17**, 223-231, 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

snelle beweging van de sterkteregelaar de inzet („attaque") van de toon van een slaginstrument wegnemen, en aldus b.v. aan een pianopassage een heel eigenaardig karakter geven [2]. Ook bestaat er nu niet meer, zoals tot dusver bij vele instrumenten het geval was, een onverbrekelijk verband tussen timbre en intensiteit: men kan een fluisterend gezongen passage, hoewel het duidelijk „fluisteren" blijft, laten klinken boven een tutti van het orkest uit.

In de balletmuziek „Kain en Abel" is herhaaldelijk gebruik gemaakt van een dynamische figuur waarbij de intensiteit van de klank klokvormig verloopt, d.w.z. snel aanzwelt en meteen weer wegsterft. Deze figuur werd verkregen door een automatisch verlopende sterkteregeling, met een toestel dat als „toonimpulsgever" wordt betiteld. De schakeling is in *fig. 2* geschetst; het toestel levert een bepaalde klokvorm, de duur van deze figuur kan in vijf stappen worden gekozen.

Verwerking en omvorming van klanken

We zeiden zojuist dat men bij de elektronische weergave het geluid in een vorm voorhanden heeft waarin het gemakkelijk te beïnvloeden is (nl. wat betreft de sterkte). Iets dergelijks geldt in nog veel sterkere mate wanneer het geluid wordt weergegeven

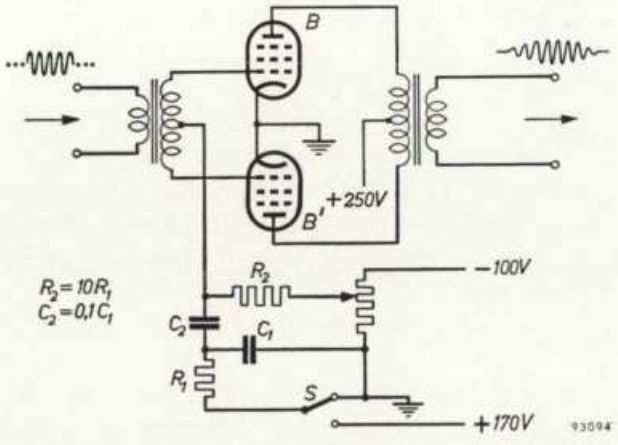

Fig. 2. Principeschakeling van de toonimpulsgever. Aan de ingang van de balansversterker met de buizen B en B' wordt b.v. een wisselspanning van constante amplitude (klank van constante sterkte) toegevoerd. In de getekende stand van de schakelaar S zijn de buizen afgeknepen door de roostervoorspanning van ca. −90 V, zodat aan de uitgang geen signaal optreedt. Zet men nu de schakelaar S om, dan wordt de roostervoorspanning eerst snel meer positief en komt boven de afknijpspanning uit, om vervolgens (naarmate de condensatoren C_1 en C_2 geladen worden) tot het niveau van −90 V terug te keren. De balansversterker levert in die tijd een geleidelijk van nul toenemende en weer tot nul dalende versterking, men krijgt dus aan de uitgang de ingangswisselspanning met een klokvormige omhullende („toonimpuls"). De breedte van de „klok" (duur van de toon of klank) kan door omschakelen op andere condensatoren C_1 en C_2 in vijf stappen geregeld worden. Na terugzetten van de schakelaar S, waardoor de condensatoren via (niet getekende) diodes zeer snel ontladen worden, kan men een nieuwe toonimpuls geven, enz.

via een magnetische band. Oorspronkelijk slechts bedoeld als conserveringsmiddel, waardoor de eenmaal ten gehore gebrachte muziek op willekeurige tijdstippen weer ter beschikking stond, heeft dit medium voor de dirigent of de componist de merkwaardige consequentie dat hij het geluid nu van seconde tot seconde letterlijk „in de hand" heeft, en er van alles mee kan doen. Zeer illustratief en praktisch belangrijk is b.v. de mogelijkheid, een minder geslaagd stukje van een opgenomen uitvoering uit de band te knippen en hiervoor in de plaats een stukje band van een betere uitvoering te plakken. Deze werkwijze heeft in de laatste jaren in de grammofoonplatenindustrie een ware omwenteling teweeggebracht [5]). Maar de componist kan diezelfde mogelijkheid ook gebruiken om nieuwe klanken te scheppen: hij kan b.v. bij elke toon van een slaginstrument het stukje band waarop de attaque is geregistreerd, verwijderen, waardoor een soortgelijk maar toch weer ander effect ontstaat [3] dan in de vorige paragraaf werd beschreven. Zeer frappant is de omvorming die men krijgt door een stuk band met andere snelheid dan die van de opname te spelen [4]. Daarbij verandert natuurlijk de toonhoogte evenredig mee, maar tevens ontstaat een ongewoon klankbeeld, doordat de verhouding in de sterkte van alle harmonischen precies dezelfde blijft, wat bij het spelen van verschillende tonen op een instrument in het algemeen niet het geval is. Versneld spelen van de band verschaft ook de mogelijkheid om extreem snelle loopjes met een perfectie ten gehore te brengen die voor een speler van vlees en bloed ten enenmale onbereikbaar is. Door continu variëren van de snelheid (een der toestellen voor magnetische registratie in dit laboratorium bood de mogelijkheid hiertoe, dank zij een speciale uitvoering van de voeding) produceert men een glissando, wat bij toepassing b.v. op pianoklanken een zeer merkwaardig effect oplevert [5]. Men kan de band ook in omgekeerde richting spelen: de tonen van een pianopassage zwellen dan regelmatig aan, om met de „attaque" te eindigen [6]. Een verdere mogelijkheid van de magnetische band is het conserveren van het geluid gedurende een zeer korte tijd, b.v. op een roterend magnetisch wiel, waarvan het door een aantal weergeefkoppen afgenomen en in regelbare sterkte bij het te registreren (of aan de luidspreker toe te voeren) signaal wordt gevoegd (*fig. 3a*); men introduceert aldus een nagalm [7], principieel op dezelfde wijze als bij de reeds vermelde methode voor verbetering van de zaalakoestiek.

[5]) Zie b.v. J. L. Ooms, Het opname- en het productieproces van grammofoonplaten, Philips techn. T. **17**, 33-41, 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Voert men het door een weergeefkop afgenomen signaal met langere vertraging en grotere rondversterking terug naar de schrijfkop (fig. 3*b*), dan is het resultaat een geluid enigszins verwant aan het bekende „overgenereren" of „kikkeren" van een oscillator [8].

De magnetische band is ongetwijfeld het belangrijkste hulpmiddel van de Elektronische Muziek, niet alleen wegens de opgesomde rijke transformatiemogelijkheden, maar ook omdat pas dit medium het mogelijk heeft gemaakt verschillende deelklanken afzonderlijk op te nemen, ze individueel te transformeren, en ze dan tot een geheel samen te voegen, te „componeren" — de oereigen bezigheid van de componist. Op de nadere uitvoering van deze bewerking en op de consequenties die ze in artistiek opzicht heeft, komen we hieronder nog terug.

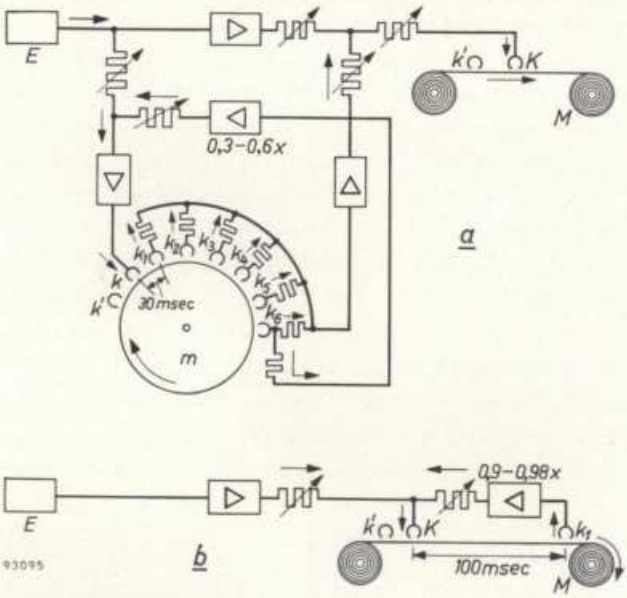

Fig. 3. Opstellingen voor het aanbrengen van nagalm (*a*) en voor het overgenereren (*b*). *E* klankbron (evtl. versterker, indien het niet een elektronische klankbron betreft). *M* magnetische band waarop door de schrijfkop *K* het resultaat van de bewerking wordt geregistreerd. In (*a*) wordt het signaal tevens door een kop *k* geschreven op een rondlopende magnetische band (omtrek van magnetische trommel *m*, met wiskop *k'*) en hiervan afgenomen door een aantal op toenemende afstand van *k* geplaatste weergeefkoppen, k_1-k_6. Deze, met 30 tot 180 msec vertraagde, signaalcomponenten, die niet afzonderlijk onderscheidbaar zijn maar tezamen de indruk van nagalm wekken, worden met het oorspronkelijke signaal aan *K* toegevoerd. In het algemeen zijn veel langere nagalmtijden dan 180 msec gewenst; om hiervoor niet een zeer groot aantal koppen te moeten gebruiken, voert men het door de laatste weergeefkop k_6 afgenomen signaal weer aan de schrijfkop *k* toe (totale rondversterking 0,3 à 0,6 ×), zodat men zes zwakkere componenten met vertragingen tot 360 msec krijgt, dan zes nog zwakkere tot 540 msec enz.

In (*b*) is een terugkoppellus tussen een weergeefkop k_1 en de schrijfkop *K* op de magnetische band zelf gevormd, met een vertragingstijd van ten minste 100 msec en een aanzienlijk grotere totale rondversterking (0,9 à 0,98 ×); het teruggekoppelde signaal wordt nu wèl afzonderlijk gehoord en wekt een soortgelijke indruk als het overgenereren of „kikkeren" van een oscillator.

Bij de nagalmmachine (*a*) kan men niet met één teruggekoppelde weergeefkop volstaan, daar de rondversterking steeds enigszins selectief is, zodat men ze niet al te vaak mag herhalen.

Behalve met de magnetische band kan men transformatie van klanken ook bewerkstelligen met andere middelen. Het meest voor de hand ligt het gebruik van elektrische netwerken, waarmee men regelbare lineaire vervormingen kan teweegbrengen („kneden" van de frequentiekarakteristiek). Een speciaal geval hiervan zijn de elektrische filters, met meer of minder scherp begrensde frequentiegebieden waarbuiten het geluid wordt verzwakt of zelfs onderdrukt [9]. Men kan hierdoor aan een bepaald smal frequentiegebied in de klank van een muziekinstrument dominerende betekenis verlenen (formant-vorming, sit venia verbo).

Nog een ander transformatiemiddel, dat in de balletmuziek „Kain en Abel" eveneens werd toegepast, is de modulator, b.v. in de vorm zoals hij in de draaggolftelefonie voorkomt [6]). Deze modulator heeft twee gelijkwaardige ingangsklemmenparen; voert men hieraan twee muzikale tonen toe, dan krijgt men aan de uitgang behalve deze tonen zelf ook al hun combinatietonen (intermodulatieprodukten). Hiervan valt de verschiltoon het meest op. Is het ene ingangssignaal een klank, het andere een zuiver sinusvormige trilling, dan krijgt men dus aan de uitgang van de modulator de klank, begeleid door een soort schaduwklank, die een constante frequentie lager ligt [10].

Elektronische klankbronnen

Bij het manipuleren met de magnetische band produceert men nieuwe „geluiden" (beter: trillingen), die de luidspreker straks ten gehore zal brengen zonder dat ooit een microfoon ze opgevangen heeft. Is men met deze gedachte vertrouwd geraakt, dan ligt het wel zeer voor de hand dat men het primaire, door een microfoon opvangbare, geluid geheel kan laten vervallen en de, aan de luidspreker toe te voeren, trillingen rechtstreeks met allerlei apparaten langs elektronische weg kan voortbrengen. Voor „Kain en Abel" zijn een reeks dergelijke elektronische klankbronnen gebruikt; ten dele waren dit overigens allang bekende en, zij het voornamelijk voor andere doeleinden, veel gebruikte apparaten.

Ook het Hammond-orgel en dergelijke instrumenten zijn in deze zin elektronische klankbronnen, en de componist van „Elektronische Muziek" zal desgewenst van deze bron evengoed als van conventionele muziekinstrumenten gebruik kunnen maken. Bij het zoeken naar nieuwe klankmogelijkheden, o.a. met behulp van transformaties, heeft het echter weinig zin uit te gaan van een vrij ingewikkeld instrument waarbij reeds

[6]) Zie b.v. F. A. de Groot en P. J. den Haan, Modulatoren voor draaggolftelefonie, Philips techn. T. **7**, 83-91, 1942.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

veel moeite gedaan is om — ook weer met elektronische middelen — bepaalde timbres te verkrijgen of na te bootsen. De door ons gebruikte klankbronnen hebben dan ook een meer elementair, minder gespecialiseerd karakter.

De uit fysisch oogpunt eenvoudigste elektronische klankbron die men zich kan denken, is de sinusgenerator (in de elektroacoustica gewoonlijk toongenerator genoemd). Een hierop aangesloten luidspreker levert een nagenoeg zuiver sinusvormig wisselende geluidsdruk, dus een toon vrijwel zonder boventonen, die een eigenaardig, onwezenlijk karakter blijkt te hebben [11]. De toonhoogte van de sinusgenerator kan men zeer eenvoudig, door draaien aan de instelknop, continu variëren. Men kan aldus willekeurige glissandi maken [12], maar vooral geeft de gemakkelijke continue instelling de mogelijkheid om op eenvoudige wijze en met grote nauwkeurigheid iedere gewenste stemming van een toonladder te verwezenlijken. Zo kan men doelbewust treden buiten de enge paden van de, in de conventionele

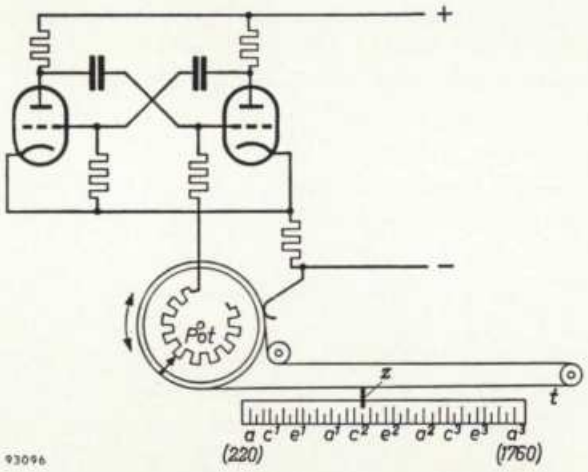

Fig. 4. Schakeling van multivibrator met continu regelbare toonhoogte. De regeling geschiedt door de potentiometer *Pot*, waarvan het sleepcontact is bevestigd op een wiel dat de musicus door heen en weer trekken van het touwtje *t* met het handvat *z* doet draaien; *z* loopt over een schaal met de tonen a tot a^3. Door snel heen en weer bewegen van de hand die *z* vasthoudt, kan men een natuurlijk („levend") vibrato teweegbrengen.

muziek gebruikte, getempereerde stemming met twaalf gelijke intervallen per octaaf. In „Kain en Abel" is herhaaldelijk gebruikt een „reine" (harmonische) stemming, d.w.z. een stemming met frequentieverhoudingen exact gelijk aan de reeks der gehele getallen. Hoewel sommige van deze reine intervallen, melodisch gebruikt, wat onwennig klinken, blijken ze door een muzikaal oor dadelijk als „goed" te worden aanvaard. Er dient speciaal te worden gewezen op het gebruik van tonen met de verhoudingsgetallen 7 en 11, die in de Europese muziek geen pendant hebben: zij werden tot dusver daaruit geweerd, omdat zij, ondanks hun volledige versmelting in een akkoord van rein gestemde tonen, sterk dissoneren met bepaalde tonen in de gebruikelijke getempereerde stemming, b.v. de septiem. (De constructie b.v. van de piano is er daarom op berekend dat de zg. „dissonante" zevende harmonische van de grondtoon van elke snaar zo weinig mogelijk wordt geëxciteerd.)

Voor het realiseren van de reine stemming — evenals trouwens in vele andere gevallen voor controle — werd een katodestraaloscillograaf gebruikt. Elk rein interval levert hierop een typische stationaire Lissajous-figuur. Aldus te werk gaande, is men bevrijd van alle intonatiemoeilijkheden, die bestaan indien men afwijkende stemmingen tracht te realiseren met de traditionele continu afstembare klankbronnen (zangstem, viool, e.a.).

Als tegenhanger van de sinusgenerator kan men de in de elektronentechniek welbekende, b.v. in telschakelingen veel toegepaste, multivibrator beschouwen. Deze levert een klank waarin alle harmonischen van de grondtoon, tot aan de hoogste voor het oor nog waarneembare, met een merkbare, geleidelijk met het rangnummer verlopende, intensiteit aanwezig zijn (b.v. kanteelvormige of zaagtandvormige trilling, waarin natuurlijk door filteren of door kneden van de karakteristiek nog variaties kunnen worden aangebracht). Deze klankbron werd voor „Kain en Abel" in twee uitvoeringsvormen gebruikt: het eerste instrument, in de wandeling aangeduid als „baritonklavier", levert een ongeveer

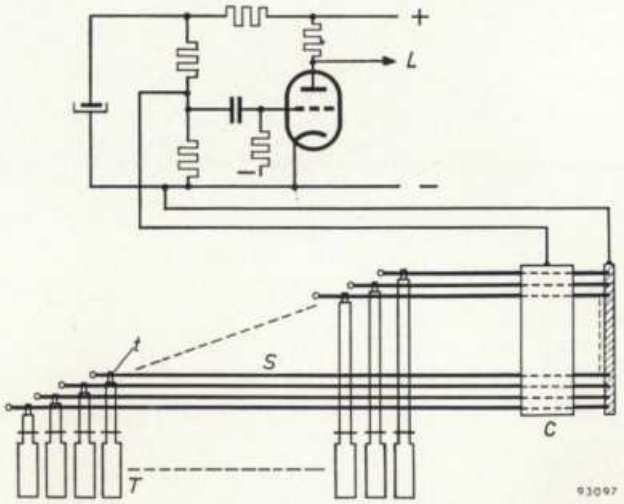

Fig. 5. Schematische voorstelling van het elektronische clavichord. De evenwijdig gespannen, enkelvoudige, snaren *S* van dit instrument worden op dezelfde wijze als bij het normale clavichord tot trillen gebracht door, met toetsen *T* bediende, tangenten *t* die tevens na het aanslaan als eindpunt van de respectieve snaar fungeren. Het geheel der snaren vormt één elektrode van een condensator, waarvan de boven de snaren geplaatste stijve plaat *C* de andere elektrode is. Deze condensator is op precies dezelfde wijze als een condensatormicrofoon in een versterkerschakeling opgenomen, waarop (bij *L*) via elektronische tussenschakels een luidspreker kan worden aangesloten.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 6. Henk Badings bij het bespelen van het elektronische clavichord.

kanteelvormige trilling, waarvan de grondtoon met behulp van drukknoppen op een reeks discrete toonhoogten kan worden ingesteld [13]; bij het tweede instrument, waarvan de toonhoogte continu kan worden gevarieerd (zodat dus een glissando mogelijk is), benadert de trillingsvorm in het lage register de kanteelvorm maar gaat in het hoge register geleidelijk naar een zaagtandvorm over [14] (zie het schema van deze multivibrator in *fig. 4*).

Voor verschillende gedeelten van „Kain en Abel" is ook gebruik gemaakt van een ruisgenerator. Als klankbron beschouwd, onderscheidt deze zich van alle andere bekende bronnen doordat de verkregen klank geen lijnenspectrum doch een continu spectrum bezit. Ruis met een constante energieverdeling in het gehele hoorbare spectrum („witte" ruis) is muzikaal niet erg interessant, daar hieraan behalve de sterkte niets te variëren valt, doch door toepassing van filters kan men aan de ruis het stempel van een meer of minder vage toonhoogte opdrukken. Er werden filters gebruikt die een frequentiegebied ter breedte van een (of meer) octaaf [15] of van een terts [16] doorlieten, welke gebieden in bepaalde stappen verschoven konden worden.

In de genoemde elektronische klankbronnen worden de frequenties van de trillingen met al hun componenten door elektrische elementen bepaald. Bij een andere, wat hybridische, groep van elektronische bronnen worden de trillingen wel pas via een luidspreker akoestisch werkzaam, maar geschiedt het vastleggen van de frequenties (toonhoogte en klankkleur) toch door mechanische elementen. Tot deze groep behoren twee soorten voor „Kain en Abel" gebruikte „elektronische trommels" en een „elektronisch clavichord". De eerste trommel was in wezen niets anders dan een grote condensatormicrofoon, op welks membraan men kon slaan of roffelen. De tweede „trommel" bestond uit een stalen plaat, waarvan de trilling op een bepaalde plaats met een piëzokristal werd afgenomen; naar gelang van plaats en wijze van aanslaan en dempen kon hieraan een grote verscheidenheid van klanken ontlokt worden [17]. Van het elektronische clavichord [18] geven we in *fig. 5* een schema met in het onderschrift enige toelichting, in *fig. 6* een foto.

Als laatste in deze reeks elektronische klankbronnen noemen we een bijzonder merkwaardige, de optische sirene[7]). Hierin wordt de toonhoogte mechanisch bepaald, nl. door een toerental, maar de klankkleur wordt langs optische weg verkregen, door middel van een uit een vel papier geknipt trillingspatroon, dat men door aftasting met een lichtbundel en een fotocel direct omzet in een elektrische trilling (*fig. 7*). In „Kain en Abel" komen op verschillende plaatsen „klankkleurmelodieën" voor, die met behulp van dit instrument zijn gemaakt [19].

[7]) J. F. Schouten, Synthetisch geluid, Philips techn. T. 4, 176-183, 1939.

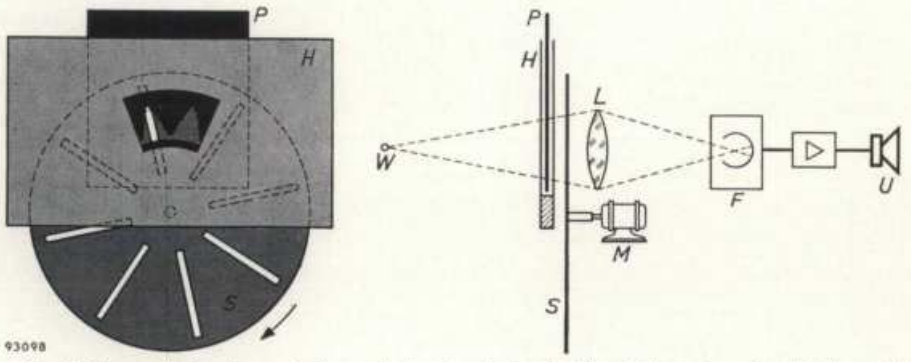

Fig. 7. De optische sirene (schematisch; zie ook de titelfoto). Een door de lichtbron *W* uitgezonden lichtbundel wordt door de lens *L* op een fotomultiplicatorbuis *F* geconcentreerd. In de bundel bevindt zich een, in de houder *H* geplaatst, vel papier *P*, waarin men het gewenste trillingspatroon heeft uitgesneden, en waarlangs de van smalle radiale spleten voorziene en door een motor *M* aangedreven schijf *S* roteert. Bij het draaien wordt het trillingspatroon telkens door een der spleten afgetast, en de door die spleet doorgelaten lichtstroom varieert overeenkomstig de ordinaat van het patroon. De in hetzelfde ritme variërende fotostroom van *F* wordt via een versterker aan de luidspreker *U* toegevoerd. Door het vel papier niet in de houder te laten rusten doch het met de hand vast te houden, kan men een natuurlijk vibrato in de klank introduceren.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het componeren en uitvoeren van elektronische muziek

Uiterlijk is het meest opvallende verschil tussen een „elektronische" compositie en een traditionele, dat de eerstgenoemde niet in aanwezigheid van het publiek door uitvoerende musici ten gehore kan worden gebracht. Het transformeren van geluiden b.v. door knippen, versnellen of omkeren van een magnetische band sluit deze mogelijkheid ten enenmale uit en leidt tot een geheel andere werkwijze: een aantal deelklanken die de componist in de partituur op een bepaald moment heeft voorgeschreven, b.v. een melodie van de sinusgenerator, een begeleidende pianofiguur, hierop te superponeren ritmische figuren van het clavichord en accenten van een elektronische trommel, worden elk afzonderlijk door een musicus-technicus voortgebracht en naar de aanwijzingen van de componist getransformeerd. Het resultaat is dan een aantal (in casu vier) „akoestische lagen", elk geregistreerd op een afzonderlijke magnetische band [20]. Nauwkeurige tijdmeting en controle van de stemming met behulp van vaste frequenties waarborgen dat de akoestische lagen op elkaar passen (bij het realiseren van „Kain en Abel" gebruikten we voor deze controle o.a. een in dit laboratorium aanwezige, de tonen c^1 tot c^2 leverende, zg. stemvorkgenerator). De lagen worden dan òf alle tegelijk òf desgewenst één voor één in de juiste dynamische verhoudingen samengevoegd [21], totdat één magnetische band met het complete werk is verkregen. Deze kan dan voor het publiek worden gespeeld.

Het is een veel gehoorde misvatting dat deze werkwijze moet leiden tot een verstard, mechanisch klankbeeld, waarin geen ruimte blijft voor de interpretatie door een uitvoerend kunstenaar. Ontegenzeggelijk gaat door het vooraf-uitvoeren en het weergeven via de magnetische band het rechtstreekse contact tussen uitvoerend kunstenaar en publiek verloren, evengoed als bij muziekuitvoeringen via radio, televisie, grammofoon. Ook was het zo dat b.v. bij „Kain en Abel" het werk het eerst werd uitgevoerd in hoofdzaak door de componist zèlf — deels omdat er nog zo weinig musici zijn die het elektronisch instrumentarium kunnen bespelen, deels omdat het componeren in dit nieuwe rijk van tonen soms parallel loopt met het uitvoeren [8]). Toch is er wel degelijk ruimte voor het interpreterend herscheppen, getuige alleen al het feit dat de componisten van Elektronische Muziek hun werk niet identificeren met een magnetische band, maar de muzikale gedachten die zij willen realiseren, neerleggen in de tekens van een partituur (*fig. 8*), zij het dan dat zij veelal nieuwe tekens moeten gebruiken en deze tekens ook zèlf bedenken. De vrijheid bij het herscheppen uit zich daarin dat zowel bij het maken als bij het samenvoegen der in de partituur genoteerde akoestische lagen talloze details, b.v. wat betreft de sterkteverhoudingen, door het muzikale gevoel moeten worden bepaald. Dit is inmiddels reeds duidelijk gebleken bij het maken van versies van de radiofonische opera „Orestes" in verschillende talen (Nederlands, Duits, Engels): de verschillende uitvoeringen tonen in de elektronische elementen zeer opvallende interpretatieverschillen, zonder dat de componist hierin zijn bedoelingen miskend zag.

Een rechtvaardiging van zijn werk behoeft de componist van Elektronische Muziek nauwelijks te geven. Hij kan zijn experimenten op dit onontgonnen terrein uit psychologisch oogpunt rangschikken onder de zucht van de westerse mens naar het nieuwe en onbekende, waarop we in de inleiding doelden. Hij kan ze muzikaal motiveren door te wijzen op het aantrekkelijke of intrigerende van de nieuwe klanken, dat hierboven ten dele ook reeds tot uitdrukking kwam:

de timbres met al hun variatie;
de reine stemming;
de ruime mogelijkheden in de dynamiek;
de door geen menselijk kunnen beperkte snelheid en briljantie van figuren;
de onbegrensde vrijheid in het samenvoegen van onafhankelijke ritmes (waarbij de metrische accenten elkaar gemiddeld zelfs kunnen opheffen, zodat een eigenaardige, zwevende beweging ontstaat [22]).

Naar de gangbare definitie van Muziek — als de kunst om via luchttrillingen artistieke emoties van mens op mens over te brengen — kan derhalve voor de componist zelf nooit twijfel aan het bestaansrecht van zijn geesteskinderen bestaan, maar moet hij de beslissing daarover aan de luisteraar (van nu of misschien van morgen) overlaten.

---

[8]) Om een kijk op de praktijk te geven, is het misschien interessant te vermelden dat het componeren en het maken van de magnetische band van „Kain en Abel" binnen een maand zijn beslag heeft gekregen. In het algemeen echter is het realiseren van een elektronische partituur toch een tamelijk tijdrovend proces; het zal globaal wellicht evenveel „man-uren" vergen als het instuderen met een orkest van een traditioneel concertstuk van vergelijkbare omvang.

Toelichting bij de klankvoorbeelden

Op zijde 1 van de bij dit artikel behorende grammofoonplaat worden een reeks losse klankvoorbeelden gegeven, elk aangekondigd door een *morseteken*, aan de hand waarvan het voor-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

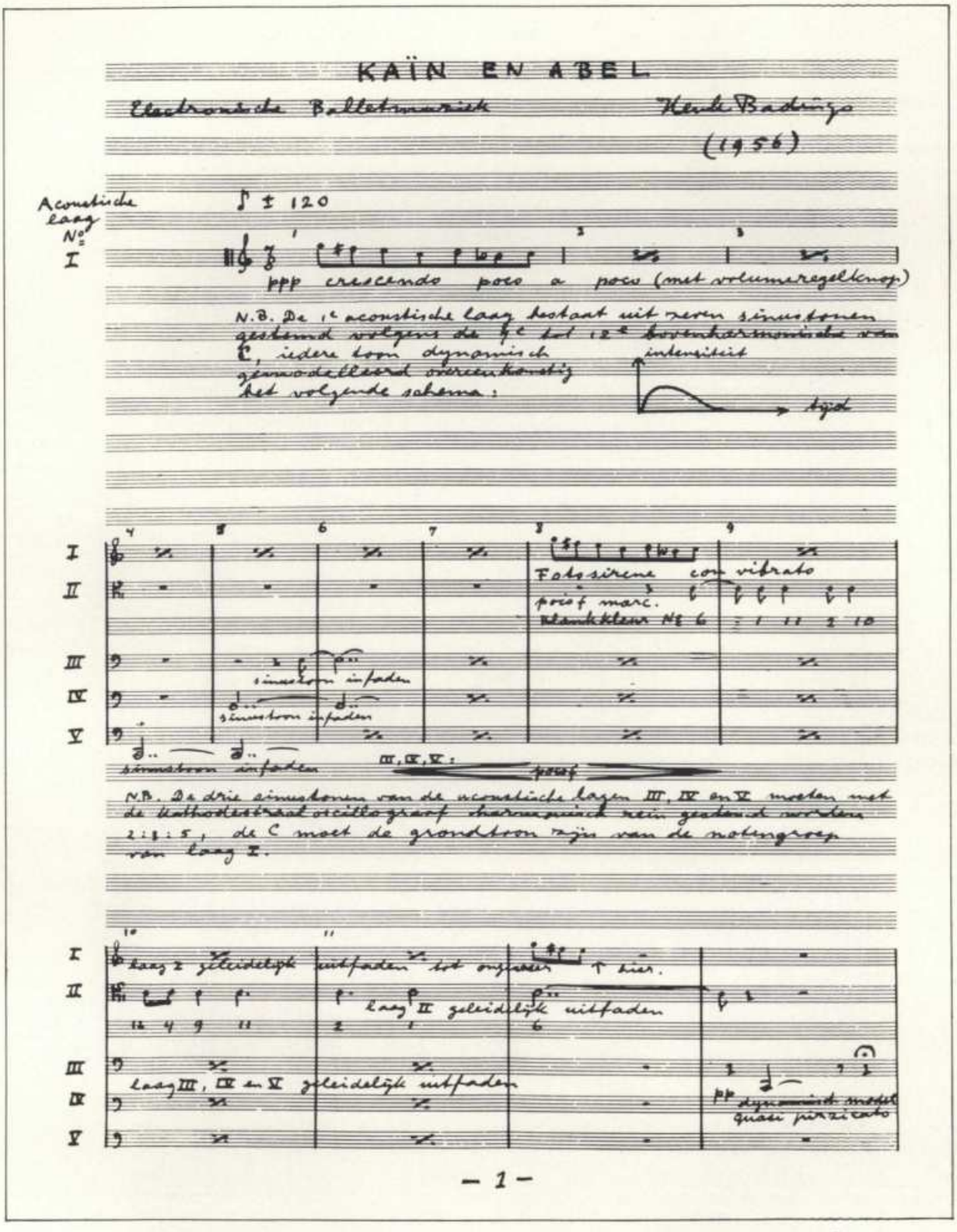
KAÏN EN ABEL
Electronische Balletmuziek
Henk Badings
(1956)
Acoustische laag No. I
♩ ± 120
ppp crescendo poco a poco (met volumeregelknop)
N.B. De 1e acoustische laag bestaat uit zeven sinustonen gestemd volgens de 1e tot 12e bovenharmonische van C, iedere toon dynamisch gemoduleerd overeenkomstig het volgende schema:
intensiteit
tijd
Fotosirene con vibrato
poco f marc.
Klankkleur Nr 6
sinustoon infaden
III, IV, V: poco f
N.B. De drie sinustonen van de acoustische lagen III, IV en V moeten met de kathodestraal oscillograaf harmonisch rein gestemd worden 2 : 3 : 5, de C moet de grondtoon zijn van de notengroep van laag I.
laag I gelijkelijk uitfaden
laag II gelijkelijk uitfaden
laag III, IV en V gelijkelijk uitfaden
pp dynamisch moduleren
quasi pizzicato
— 1 —
92797

Fig. 8. Eerste bladzijde van de partituur van de Elektronische balletmuziek „Kain en Abel". Men ziet dat hier vijf „akoestische lagen" zijn gebruikt en dat de componist voorals nog bij dit soort muziek veel toelichtingen moet schrijven om zijn bedoelingen te specificeren. Voor de optische sirene („fotosirene") waren 12 trillingspatronen, die dus verschillende klankkleuren geven, van te voren uitgeknipt en genummerd, zodat in de partituur alleen het nummer en de toonhoogte (toerental van de spletenschijf) behoefden te worden opgegeven.

Op andere plaatsen in de partituur zijn andere methodes toegepast voor de notatie, o.a. een soort tabulatuur (greepschrift, zoals vroeger o.a. bij de luit werd gebruikt), en een grafiek waarin rechtstreeks de gewenste trillingsfrequenties als functie van de tijd zijn uitgezet.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

beeld in de hieronder volgende toelichting kan worden geïdentificeerd. De cijfers [···] verwijzen naar de voorgaande tekst. Op zijde 2 is een sterk verkorte versie van de balletmuziek „Kain en Abel" geregistreerd. Deze versie is door de componist uit de oorspronkelijke magnetische band, die een speelduur van ca. 20 minuten heeft, zodanig gemonteerd dat in het bestek van de speelduur van 8 minuten een groot aantal markante passages optreden, terwijl de muzikale vorm van het geheel zo weinig mogelijk geweld is aangedaan.

De klankvoorbeelden op zijde 1 vormen drie groepen:

I. Illustratie van het effect van een aantal elektronische bewerkingen, elk toegepast op een zelfde traditioneel geluidsmateriaal, nl. een op magnetische band opgenomen pianofiguur.

II. Illustratie van de klank van een aantal in de tekst besproken elektronische klankbronnen, ten dele puur, ten dele al bewerkt met middelen volgens (I).

III. Demonstratie van het combineren van akoestische lagen. Hiervoor is een (op zijde 2 van de plaat voorkomende) passage uit „Kain en Abel" gekozen; ter wille van de duidelijkheid van de demonstratie werden echter de lagen opnieuw samengesteld met weglating van enkele in de partituur voorgeschreven bewerkingen, o.a. zonder toevoeging van nagalm.

Groep I (diverse elektronische bewerkingen)

Men hoort eerst de pianofiguur zelf, bestaande uit een akkoord, een loopje, en hetzelfde akkoord een octaaf hoger. Vervolgens:

—• Vertraging (halve snelheid van de band). [4]

Versnelling (dubbele snelheid van de band: twee maal gespeeld). [4]

Versnelling (viervoudige snelheid van de band; drie maal gespeeld). [4]

Glissando van het akkoord, van de lage naar de een octaaf hogere ligging. [5]

—•• Dynamische figuur, aangebracht in het akkoord met behulp van de sterkteregelaar. [1]

Afsnijden van de inzet van elke toon in het loopje, met behulp van de sterkteregelaar. [2]

Afsnijden van dezelfde inzetten door eruitknippen van stukjes band. [3]

—••• Omkering in de tijd, door spelen van de band in omgekeerde richting. [6]

—•••• Overgenereren, toegepast op het akkoord (twee maal gespeeld). [8]

Nagalm, toegevoegd aan de volledige pianofiguur. [7]

Groep II (diverse elektronische klankbronnen)

——• Sinusgenerator: staccato tonen, [11]
glissando, [12]
legato tonen. [11]

——•• Optische sirene: „klankkleurmelodie". [19]

——••• Multivibrator („baritonklavier"). [13]

——•••• Multivibrator (continu instelbaar). [14]

——••••• Stalen plaat, op verschillende manieren aangeslagen en gedempt. [17] Tevens ten dele elektronisch bewerkt door aanbrengen van dynamische figuren en versneld spelen (vgl. ook tegen het einde van zijde 2 van deze plaat).

——•••••• Ruisgenerator:
breedte 1 octaaf (achtereenvolgens 8-4, 4-2, 2-1 en 1-0,5 kHz), [15]
breedte 1 terts (ligging in stappen variërend van 100 tot 1600 Hz). [16]

——••••••• Elektronisch clavichord: [18]
Zelfde figuur als van de piano in groep I der klankvoorbeelden.
Andere figuur; magnetische band gespeeld met continu toenemende snelheid.
Intermodulatie van deze laatste figuur en een sinustoon van toenemende frequentie.

Groep III (combineren van akoestische lagen)

— Een volledige passage, samengesteld uit vijf lagen.

—• Eerste laag:

simile ad lib.

ontstaan uit een pianofiguur uitgevoerd met 224 achtsten per minuut (♪ = 224); band gespeeld met dubbele snelheid in omgekeerde richting. [20]

—•• Tweede laag:

simile ad lib.

ontstaan uit een pianofiguur uitgevoerd door indrukken van toetsen en strijken over de desbetreffende snaren met een hard voorwerp, ♪ = 200; band gespeeld met dubbele snelheid.

—••• Derde laag:

simile ad lib.

ontstaan uit een pianofiguur uitgevoerd met ♪ = 65; band gespeeld met dubbele snelheid.

—•••• Vierde laag:

simile ad lib.

pianofiguur uitgevoerd met ♪ = 105; band normaal gespeeld.

—••••• Vijfde laag: uit tonen van aangeslagen buizen samengestelde klank, gelijkend op de slag van een klok met slagtoon Es, gevolgd door de eerder vermelde clavichordfiguur met intermodulatie [18], maar met nog hoger oplopende bandsnelheid.

——• Combinatie van derde en vierde laag. [21] [22]

——•• Combinatie van derde, vierde en eerste laag.

——••• Combinatie van derde, vierde, eerste en tweede laag.

——•••• Alle vijf lagen gecombineerd, zelfde als aan het begin van deze groep.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Samenvatting. In de hedendaagse muziek hebben zich verschillende compositierichtingen ontwikkeld, die men met de verzamelnaam „Elektronische Muziek" kan aanduiden. Het gemeenschappelijke kenmerk van deze compositierichtingen is het gebruik van de magnetische registratie en andere elektronische hulpmiddelen, om het gebruikte geluidsmateriaal (dat afkomstig kan zijn van traditionele muziekinstrumenten, van „natuurlijke" bronnen of van elektronische klankbronnen) te bewerken en om te vormen tot iets geheel nieuws. In dit artikel wordt het elektronische instrumentarium beschreven dat in het Philipslaboratorium te Eindhoven aan de componist Henk Badings ter beschikking was gesteld voor het realiseren van de Elektronische balletmuziek „Kain en Abel". Er wordt nader ingegaan op de mogelijke bewerkingen, zoals vertragen, versnellen, omkeren, dynamische figuren maken, filteren, intermoduleren, doen overgenereren en nagalm toevoegen; voorts op een aantal elektronische klankbronnen, zoals de sinusgenerator, multivibratoren, ruisgeneratoren, de optische sirene en een elektronisch clavichord. Het muzikale belang van de toepassing van al dergelijke middelen ziet de componist o.a. in de mogelijkheid om talloze nieuwe timbres aan de beperkte reeks van die der traditionele muziekinstrumenten toe te voegen, om zonder enige moeite met nieuwe stemmingen te werken, die afwijken van de conventionele getempereerde, om snellere en briljantere figuren te realiseren dan menselijke spierkracht en vaardigheid zouden toelaten, en om uiterst gecompliceerde ritmes toe te passen, die menselijke spelers nauwelijks zouden kunnen volhouden.

Deze mogelijkheden worden geïllustreerd door een reeks klankvoorbeelden op een grammofoonplaat, die bij het artikel is gevoegd en waarop ook een verkorte versie van „Kain en Abel" is opgenomen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

DOSIMETRIE VAN DE ZEER ZWAKKE RÖNTGENSTRALING OPGEWEKT IN TELEVISIE-ONTVANGERS EN RÖNTGENDIFFRACTIE-APPARATEN

621.386.82:621.397.62

Bij allerlei toestellen waarin op hoge spanning werkende elektronenbuizen zijn toegepast, moet rekening worden gehouden met het feit dat buiten het toestel een zeer zwakke, zachte (weinig doordringende), röntgenstraling kan optreden. Tot deze toestellen behoren b.v. de röntgendiffractie-apparaten, vroeger alleen in wetenschappelijke laboratoria, doch thans op grote schaal in keur- en fabricageafdelingen van de industrie in gebruik. Ook televisie-ontvangers kunnen röntgenstraling uitzenden, daar bij de moderne apparaten met een groot kijkscherm de versnellingsspanning voor de katodestraal in de weergeefbuis waarden tot 20 kV kan hebben, bij een straalstroom tot 0,2 mA. Deze röntgenstraling is gelukkig zo zacht dat zij met eenvoudige middelen tot een ongevaarlijke intensiteit verzwakt kan worden, b.v. door de 6 mm dikke plaat van veiligheidsglas voor het kijkscherm, die toch al nodig is als bescherming tegen implosie van de buis. Toch is het noodzakelijk bij de fabricage controle uit te oefenen op de intensiteit der buiten het toestel optredende röntgenstraling, ten einde er zeker van te zijn dat voor de gebruiker geen enkel gevaar bestaat.

Door de International Commission for Radiological Protection [1]) wordt aanbevolen dat de doseringssnelheid der röntgenstralen aan de buitenzijde van het oppervlak van huiskamertelevisie-ontvangers niet meer zal bedragen dan 2 milliröntgen per uur (2 mr/h of 0,6 μr/sec). In de toekomst zal de grens waarschijnlijk nog lager gesteld worden, om elk risico van een bevolkingsgenetische invloed der straling uit te sluiten. Bij de te beschrijven meetapparatuur is met zulk een verlaging van de grens reeds rekening gehouden.

Voor röntgendiffractie-apparaten worden, wat betreft de maximaal toelaatbare doseringssnelheid buiten de nuttige röntgenbundel, mildere eisen gesteld. Deze apparaten immers worden slechts door een zeer klein gedeelte der bevolking gebruikt, zodat bevolkingsgenetische overwegingen geen rol spelen doch alleen de normen voor individuele bescherming behoeven te worden toegepast. Voor industrieel gebruik van röntgenapparaten wordt 6 mr/h als maximaal toelaatbare doseringssnelheid buiten de nuttige röntgenbundel aanbevolen.

[1]) Recommendations of the International Commission for Radiological Protection, Brit. J. Radiology, Suppl. no. 6, 1955.

Het controleren van de intensiteit van een zeer zachte, zwakke röntgenstraling, zoals die van televisie-ontvangers, kan geschieden met Geiger-Müller-telbuizen die voorzien zijn van een venster van dun mica (ca. 15 μ). Zulke buizen zijn voldoende gevoelig en het micavenster laat ook de zachte stralen goed door [2]). Verder is gebleken dat, indien de buis met een geschikt gas wordt gevuld, de gevoeligheid slechts weinig varieert met de in de televisieweergeefbuizen gebruikte versnellingsspanningen (10-20 kV) [3]). Een ander voordeel van de Geiger-Müller-buizen is de kleine werkzame oppervlakte (ca. 10 mm diameter). De aanwijzing van het op een stralingsdetector aangesloten meetinstrument (in casu b.v. een impulsdichtheidsmeter, ook telfrequentiemeter genoemd [2])) komt overeen met de doseringssnelheid gemiddeld over de werkzame oppervlakte van de detector. Bij het gebruik van Geiger-Müller-buizen zullen derhalve nauwe bundels van lekstraling veel duidelijker tot uitdrukking komen dan bij het werken met de, voor dosismetingen meer gebruikelijke, ionisatiekamers, die een 10-100× zo grote werkzame oppervlakte bezitten.

Een belangrijk probleem bij stralingsmetingen is het ijken van het meetinstrument. Dit moet geschieden met behulp van een standaarddosismeter, die men zo geconstrueerd heeft dat de bestralingsdosis in röntgens uit de meteraanwijzing en de geometrische en elektrische gegevens van de meetopstelling kan worden berekend. De door ons voor zachte röntgenstraling in het algemeen gebruikte standaarddosismeter, ontworpen naar het voorbeeld van een door Taylor en Stoneburner [4]) geconstrueerd instrument, is in *fig. 1* geschetst [5]). In het bijschrift van de figuur is toegelicht, door welke maatregelen hierbij wordt voldaan aan de in de definitie van de röntgen vervatte voorwaarden. Men berekent de doseringssnelheid, uitgedrukt in röntgens per seconde, ter plaatse van het diafragma *D*, door de collectorstroom, uitgedrukt in

[2]) P. H. Dowling, C. F. Hendee, T. R. Kohler en W. Parrish, Telbuizen voor röntgenstralen, Philips techn. T. **18**, 264-279, 1956 (no. 9).

[3]) Vgl. ook: T. R. Kohler en W. Parrish, Conversion of quantum counting rate to roentgens, Rev. sci. Instr. **27**, 705-706, 1956 (no. 9).

[4]) L. S. Taylor en C. F. Stoneburner, Radiology **23**, 22, 1934.

[5]) W. J. Oosterkamp en J. Proper, Acta radiologica **37**, 33, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

e.s.e./sec, te delen door de massa, uitgedrukt in eenheden van 1,293 mg, van de lucht in een cilinder ter lengte van de afstand tussen de vlakken AA' en BB' en met als grondvlak de diafragmaopening. (Een correctie dient aangebracht te worden voor de verzwakking der röntgenstralen tussen het diafragma en het vlak door het midden van de collector.)

Deze standaarddosismeters zijn ontworpen om daarmede dosismeters voor de röntgentherapie te ijken. De doseringssnelheid bedraagt bij röntgentherapie 0,5-5 r/sec en soms nog wel aanzienlijk meer. Bij de dosismeters voor beschermingsdoeleinden gaat het om zeer veel geringere doseringssnelheden. Zoals we hebben gezien, moet in het geval van televisie-apparaten 0,6 μr/sec, in de toekomst nog wel minder, b.v. ca. 0,1 of 0,2 μr/sec, met redelijke nauwkeurigheid gemeten kunnen worden, zodat het instrument voor de ijking van de beschermingsdosismeter enige millioenen maal gevoeliger moet zijn dan de standaarddosismeter volgens fig. 1.

Men kan de gevoeligheid van een ionisatiedosismeter vergroten door het stroommeetinstrument gevoeliger te maken. Immers, de meting van de ionisatiestroom geschiedt òf door deze door een weerstand te leiden en het spanningsverschil over deze weerstand met een elektrometer te meten, òf door met de ionisatiestroom een condensator te laden of te ontladen en de verandering van de spanning op deze condensator in een bepaald tijdsinterval te meten. Door een meetweerstand van hogere waarde resp. een meetcondensator van kleinere capaciteit te kiezen, kan men de gevoeligheid van de stroommeting opvoeren. Het ligt echter voor de hand dat hieraan een grens gesteld is. Bij de beschreven standaardkamer is de grootte van het luchtvolume waarin de ionisatie gemeten wordt en waarmee de ionisatiestroom evenredig is, ca. 0,08 cm³. Men berekent gemakkelijk dat bij een doseringssnelheid van 0,15 μr/sec de ionisatiestroom in deze kamer slechts ca. 10^{-8} e.s.e./sec $= 3 \times 10^{-18}$ A zou bedragen. Meting van zulke kleine stromen, met de vereiste nauwkeurigheid, is niet meer op eenvoudige wijze mogelijk.

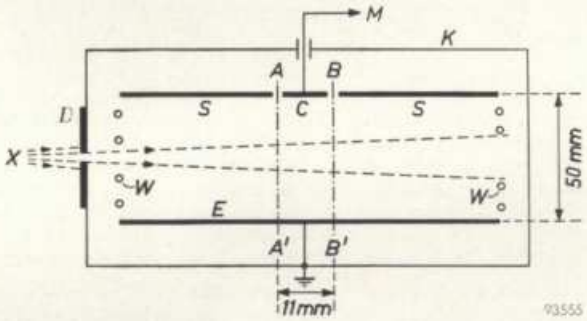

Fig. 1. Doorsnede (schematisch) van een standaard-ionisatiekamer voor de dosimetrie van zachte röntgenstraling. E en $C+S$ vlakke, evenwijdige elektrodes in de metalen, met lucht gevulde doos K. D rond diafragma van lood of wolfraam, dat de binnentredende röntgenstralenbundel X begrenst. In de röntgenbundel wordt de lucht geïoniseerd, in hoofdzaak door de snelle elektronen, die door de röntgenstralen bij de primaire ionisatie in de lucht vrijgemaakt worden. Deze elektronen hebben een vrij grote dracht, zodat ze zijdelings buiten de röntgenbundel doordringen en ook daar ionisatie veroorzaken, waardoor zich in en om de röntgenbundel een wolk van ionen bevindt. De afstand der elektrodes is zo groot dat deze wolk zich ongehinderd kan vormen. Het middengedeelte van één der elektrodes, de collector C, is geïsoleerd van de buitenste gedeelten S; deze dienen als schermplaten. Collector en schermplaten hebben nagenoeg dezelfde potentiaal. De schermplaten en de, op een passende potentiaal gebrachte en daardoor het veld homogeniserende, draden W aan het begin en het einde van het elektrodesysteem maken dat het elektrische veld tussen AA' en BB' vrijwel geen axiale component heeft. Daardoor zullen, als de veldsterkte voldoende groot is om de ionen zo snel naar de elektrodes af te voeren dat er vrijwel geen kans op recombinatie is, alle ionen van hetzelfde teken, gevormd tussen de vlakken AA' en BB', naar de collector gaan. Er wordt dan voldaan aan de voorwaarden die in de definitie van de röntgen zijn vervat. De doseringssnelheid ter plaatse van het diafragma, uitgedrukt in röntgens per seconde, is nu gelijk aan de (in een meetinstrument M gemeten) collectorstroom in e.s.e. per sec gedeeld door de massa, uitgedrukt in eenheden van 1,293 mg, van de lucht in een cilinder ter lengte van de afstand tussen de vlakken AA' en BB' en met als grondvlak de diafragmaopening. Het volume van deze cilinder is bij de geschetste kamer 0,08 cm³.

Wij omzeilen deze moeilijkheid door bij de ijking van de beschermingsdosismeters gebruik te maken van een substandaardkamer, met een volume van ca. 160 cm³, dus 2000× zo groot als dat van de standaardkamer. Door geschikte keuze van de stralingsintensiteit en daarbij aangepaste meetweerstand resp. meetcondensator is het nu mogelijk de substandaardkamer eerst ten opzichte van de standaardkamer te ijken, en vervolgens de te ijken instrumenten met behulp van een grotere meetweerstand, resp. kleinere meetcondensator, te vergelijken met de substandaardkamer.

In een kamer met een dusdanig groot volume is het niet goed doenlijk de condities te realiseren waaraan voldaan moet zijn voor een rechtstreekse berekening van het aantal röntgens uit meetkundige en andere gegevens. Dit is echter bij de beschreven werkwijze ook niet nodig: van de substandaardkamer wordt alleen geëist dat de verkregen meteraanwijzing goed reproduceerbaar is, terwijl de gevoeligheid liefst zo weinig mogelijk moet variëren met de hardheid van de te meten röntgenstraling.

Voor een goede reproduceerbaarheid moet men zeker zijn dat alle in de kamer gevormde ionen door het veld naar de collector worden gezogen. In de eerste plaats mogen daarom in de ionisatiekamer generlei luchtstromingen optreden, waardoor de ionen zouden kunnen wegwaaien, en ten tweede moet de elektrische veldsterkte overal zo groot zijn dat de ionen op de collector arriveren vóór een merkbaar deel ervan heeft kunnen recombineren. De

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

laatste voorwaarde maakt het gewenst een zoveel mogelijk homogeen veld toe te passen, ten einde de spanning die men op de elektrodes van de kamer moet zetten, zo laag mogelijk te houden; een opstelling met vlakke evenwijdige elektrodes is derhalve het gunstigst. De eerstgenoemde voorwaarde echter brengt mede dat de ionisatiekamer het liefst geheel gesloten zou moeten zijn, in ieder geval slechts zeer kleine openingen mag bevatten. De in fig. 1 geschetste constructie van de standaardkamer, waarbij de röntgenstralen dwars op de richting van het elektrische veld de kamer binnentreden, is daarom minder geschikt als men een groot volume wil bestralen, zoals in de substandaardkamer. De door ons hiervoor gekozen constructie is in *fig. 2* getekend. De kamer heeft de vorm van een ronde doos van methylmetacrylaat, ruim 10 cm in diameter. De stralen treden de doos binnen door een dun, fijnmazig, met grafiet geleidend gemaakt nylongaas, dat de doos aan die zijde afsluit. Dit gaas vormt samen met de, eveneens met grafiet bedekte, bodem van de doos het elektrodesysteem; het beperkt door zijn dichtheid de luchtstroming voldoende, en het veroorzaakt door zijn geringe dikte en de relatief nog grote tussenruimten een slechts geringe verzwakking van de te meten zeer zachte röntgenstraling.

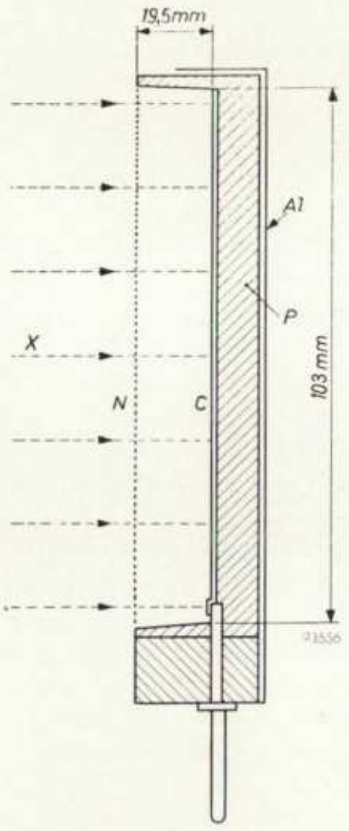

Fig. 2. Substandaard-ionisatiekamer voor de dosimetrie van uiterst zwakke, zachte röntgenstraling. Dank zij het grote meetvolume (160 cm³) krijgt men bij de uiterst geringe doseringssnelheid van 0,1-0,2 μr/sec, zoals die aan de buitenzijde van een huiskamertelevisie-ontvanger kan voorkomen, nog een meetbare collectorstroom. Met behulp van deze substandaardkamer ijkt men de Geiger-Müller-telbuizen, die als beschermingsdosismeters worden gebruikt. *C* grafietlaag die als collector-elektrode dient. *N* elektrode van nylongaas dat met grafiet is bedekt, waardoorheen de röntgenstralen de ionisatieruimte binnentreden. *P* doos van methylmetacrylaat, van buiten bekleed met een geaarde aluminiumfoelie ter elektrische afscherming.

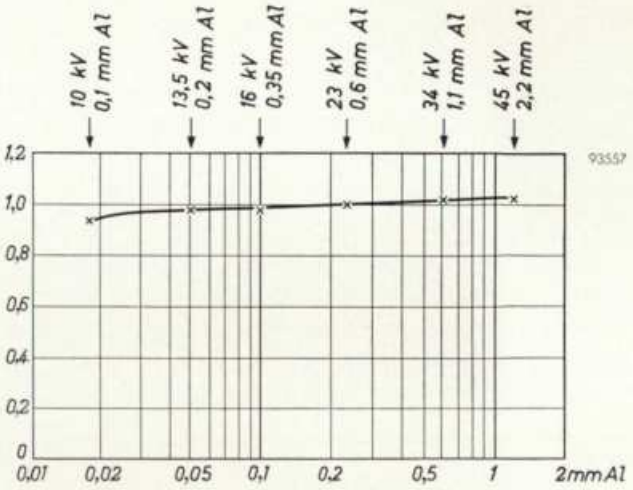

Fig. 3. „IJkkromme" van de in fig. 2 afgebeelde substandaardkamer. De verhouding van de gevoeligheid van deze kamer tot die van de standaardkamer in fig. 1, omgerekend op dezelfde luchthoeveelheid, is uitgezet als functie van de hardheid der röntgenstraling. De hardheid is uitgedrukt door de dikte van de aluminiumlaag die de straling moet doorlopen opdat de doseringssnelheid tot de helft wordt gereduceerd (halveringsdikte in mm Al). Voor een zestal stralingen is aangegeven, met welke buisspanningen (kV) en filters (mm Al) zij werden verkregen.

Terwijl bij de standaardkamer de binnen het meetvolume aanwezige lucht in de bundelrichting begrensd is door lucht en de elektrodes zich buiten de röntgenbundel bevinden, is dit bij de substandaardkamer niet het geval. De mogelijkheid bestaat dat uit de elektrodes niet evenveel elektronen het meetvolume binnentreden als uit dit volume naar de elektrodes verloren gaan — hoewel bij de beschreven constructie de elektrodes in dit opzicht zo goed mogelijk „equivalent aan lucht" zijn gemaakt. Deze afwijking is de reden waarom vergelijking met een standaardkamer wenselijk is. Bij het vergelijken van de substandaardkamer met de standaardkamer is het noodzakelijk dat de hiervoor gebruikte röntgenbundel over de grote doorsnede van de substandaardkamer een constante intensiteit heeft.

Het resultaat van de vergelijking van de beschreven substandaardkamer met de standaardkamer bij verschillende hardheid der röntgenstraling, gekarakteriseerd door de halveringsdikte in aluminium, of door de spanning aan de röntgenbuis en het filter in de stralenbundel, is in *fig. 3* weergegeven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Enige typen Geiger-Müller-telbuizen met verschillende afmetingen, vensterdikte en gasvulling werden met de substandaardkamer geijkt bij diverse stralenhardheden (*fig. 4*). De buizen waren daartoe aangesloten op een gecombineerd voedings- en meetinstrument, dat de gemiddelde impulsdichtheid aangeeft (type PW 4041).

Volle uitslag in het meetgebied voor de grootste gevoeligheid (300 impulsen/min) komt voor de telbuis MX 114 overeen met ca. 0,2 mr/h en voor de telbuis MX 108 met ca. 1,5 mr/h. In herinnering wordt gebracht dat de te meten doseringssnelheid van de orde van grootte 0,5-2 mr/h is. Mede met het oog op zijn betrekkelijk geringe afhankelijkheid van de hardheid is derhalve de telbuis MX 108 het beste geschikt voor het beoogde doel.

Met een aldus geijkt Geiger-Müller-instrument werden televisie-apparaten type 17 TX 144A-38, 21 TX 144A-00 en 17 TX 123U-00 onderzocht bij

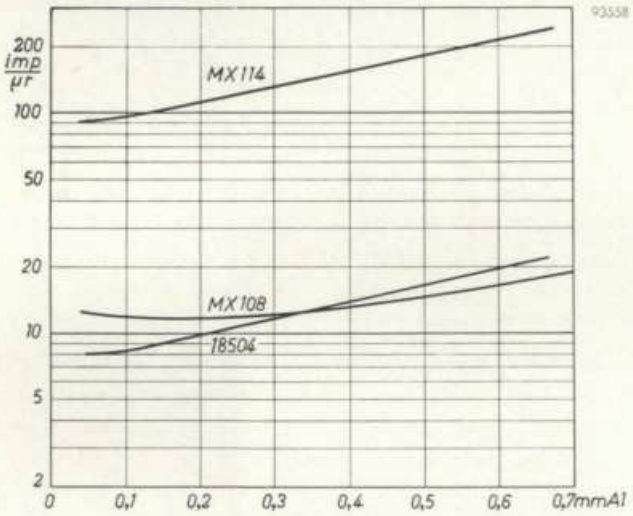

Fig. 4. IJkkrommen van diverse Geiger-Müller-telbuizen voor röntgenstraling opgewekt bij spanningen tussen 10 en 25 kV.
Type 18504: vensterdikte ca. 10 µ, vensterdiameter 9 mm, vulling neon + argon + halogeentoevoeging. Bij het meten treedt een achtergrond van 20 imp/min op; men kan nog bruikbare metingen verrichten indien het signaal ruwweg gelijk aan de achtergrond is, dus hier bij ca. 2 µr/min, d.i. ca. 0,1 mr/h (bij 16 kV).
Type MX 108: vensterdikte ca. 15 µ, vensterdiameter 17 mm, vulling neon + argon + halogeentoevoeging. Achtergrond 35 imp/min; meetgrens ca. 0,2 mr/h.
Type MX 114: vensterdikte ca. 15 µ, vensterdiameter 28 mm, vulling neon + argon + halogeentoevoeging. Achtergrond 70 imp/min; meetgrens ca. 0,04 mr/h.

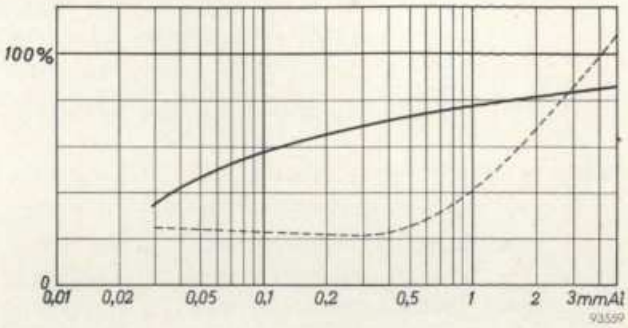

Fig. 5. Verloop van de gevoeligheid van een ionisatiekamer (getrokken) en van een Geiger-Müller-telbuis type MX108 (gestippeld) als functie van de hardheid der röntgenstraling.

ca. 10% overspanning. Op geen enkele plaats aan het buitenoppervlak van het apparaat werd een doseringssnelheid groter dan 0,5 mr/h gemeten. Bij vroegere metingen aan een dergelijk televisieapparaat vond men grotere waarden, tot 2 mr/h. De röntgenstralen waren bij het toen beschouwde apparaat echter slechts in geringe mate afkomstig van de weergeefbuis, doch hoofdzakelijk van de gelijkrichtbuizen, type DY 86, in de generator voor de hoogspanning. Door het glas van deze buizen te vervangen door een sterk loodhoudend glas, kon deze ongewenste straling volledig geëlimineerd worden, waardoor dus een extra veiligheidsmarge verkregen werd.

We hebben reeds vermeld dat voor het werk met röntgendiffractie-apparaten 6 mr/h als maximale buiten het toestel toelaatbare doseringssnelheid wordt aanbevolen. Voor de controle hiervan kan een ionisatie-instrument voldoende gevoelig zijn (een veel gebruikt instrument b.v. heeft zijn volle uitslag bij 15 mr/h). Bij deze röntgenapparaten worden spanningen tot ca. 50 kV gebruikt, waardoor behalve zachte röntgenstraling ook hardere röntgenstraling geëmitteerd wordt. Boven 20 kV neemt de gevoeligheid van Geiger-Müller-buizen snel toe, terwijl die van een ionisatiekamer tamelijk constant blijft (*fig. 5*). Ook dit pleit voor het gebruik van een ionisatiekamer. Deze houdt echter het in het begin genoemde nadeel van de grote oppervlakte waarover het instrument middelt. Daarom kan men het best beide instrumenten naast elkaar gebruiken.

W. J. OOSTERKAMP, J. PROPER en J. J. F. de WIJK.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLIKATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publikaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

2455: H. Bremmer: Asymptotic developments and scattering theory in terms of a vector combining the electric and magnetic fields (I.R.E. Trans. on Antennas and Propagation **AP-4**, 264-265, 1956, no. 3; Electromagnetic wave theory symposium).

De vergelijkingen van Maxwell voor een inhomogeen medium worden uitgedrukt met behulp van een complexe veldvector die is samengesteld uit de vectoren die de elektrische en de magnetische veldsterkte voorstellen. Aangetoond wordt hoe, ten gevolge van de inhomogeniteit van het medium, in de differentiaalvergelijkingen een koppeling optreedt tussen deze vector en de overeenkomstige complex geconjugeerde vector. De koppelingstermen bestaan uit twee bijdragen, die voortkomen uit verstrooiings- en interne-reflectie-effecten. Bovenbedoelde vectorcombinatie blijkt bijzonder geschikt te zijn om de geometrisch-optische reeksontwikkelingen te formuleren die optreden in de theorie van Luneberg en Kline.

2456: A. A. van Trier: Some topics in the microwave application of gyrotropic media (I.R.E. Trans. on Antennas and Propagation **AP-4**, 502-507, 1956, no. 3; Electromagnetic wave theory symposium).

In de inleiding wordt de theorie van het Faraday-effect (draaiing van het polarisatievlak van elektromagnetische golven als een magneetveld in de voortplantingsrichting aanwezig is) kort samengevat voor vlakke golven en voor golven die zich voortplanten in een golfgeleider. Vervolgens wordt een methode besproken om de draaiing te meten die optreedt in een golfgeleider met cirkelvormige doorsnede en voorzien van een dunne, coaxiaal opgestelde, ferrietkern. Enige meetresultaten worden nader beschouwd in verband met de theorie, b.v. de voor de componenten van de permeabiliteitstensor van het ferriet verkregen waarden en de gemeten draaiing in afhankelijkheid van de dikte van de ferrietkern. De metingen zijn voortgezet tot dermate hoge waarden van het magneetveld (9000 Oe) dat het gebied waarin magnetische resonantie optreedt, werd doorlopen. Ten slotte worden rechthoekige golfgeleiders met ferrietkern besproken, waarbij een eenvoudige methode van successieve benadering wordt gebruikt om het probleem op te lossen.

2457: E. G. Dorgelo: Technologie von Magnetrons und Klystrons (Vakuum-Technik **5**, no. 8, 177-189, 1956).

Tweede gedeelte van een artikel over technologische problemen die zich voordoen bij het vervaardigen van magnetrons en klystrons (voor het eerste gedeelte, zie no. **2378** van deze overzichten). Van diverse onderdelen, nl. anodes, uitvoercircuits, vensters, afstemelementen en katodes, wordt de materiaalkeuze toegelicht en de fabricage besproken. Daarna komen de montage en de hierbij toegepaste technieken ter sprake en ten slotte worden het pompen en het inbranden behandeld.

2458: J. A. Haringx: Enkele essentiële elementen bij ver doorgevoerde automatisering (Ingenieur **68**, E126-E131, 14 dec. 1956).

De drie soorten automatisering die men kan onderscheiden (eerste soort: alleen programmering; tweede soort: programmering en controle via terugkoppeling; derde soort: beslissing omtrent het programma, programmering en controle via terugkoppeling), worden met een drietal eenvoudige voorbeelden toegelicht. Met ver doorgevoerde automatisering wordt automatisering van de derde soort bedoeld. Aan de hand van een concreet voorbeeld (een elektronisch bestuurde nokkenfreesmachine) wordt besproken hoe men bij gereedschapswerktuigen een automatisering van de derde soort kan realiseren.

2459: J. Bloem en F. A. Kröger: The interstitial diffusion of Cu in PbS single crystals (Rep. Meeting on Semiconductors held by the Phys. Soc. in collab. with Brit. Thomson-Houston Ltd., Rugby, april 1956, blz. 77-81).

De diffusie van Cu in PbS-kristallen werd bestudeerd bij zo lage temperaturen (100-400 °C) dat zelfdiffusie van Pb en S kon worden verwaarloosd. De diffusiesnelheid blijkt af te hangen van de voorgeschiedenis van het kristal en van de samenstelling en de druk van het omgevende gas. Voor de activeringsenergie voor interstitiële diffusie van Cu werd 0,3 eV gevonden.

2460: H. Bremmer: Numerical analysis of magnetic lens parameters on a theoretical basis (Proc. third int. Conf. Electron Microscopy, Londen 1954, blz. 89-92).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Een verslag wordt gegeven van de stand in 1954 van een systematisch theoretisch onderzoek naar de eigenschappen van magnetische elektronenlenzen. Zowel de paraxiale parameters als de aberratieconstanten worden afgeleid uit numerieke oplossingen van de differentiaalvergelijking voor paraxiale stralen.

2461*: A. C. van Dorsten: Electron irradiation of specimens (Proc. third int. Conf. Electron Microscopy, Londen 1954, blz. 172-173).

Preparaten die te dik waren om in de elektronenmicroscoop rechtstreeks te worden bestudeerd, werden blootgesteld aan bestraling met elektronen in de bundel van een 700 kV-elektronenversnellingsbuis. Daarna bleken deze preparaten in de elektronenmicroscoop in enkele gevallen veel beter doorzichtig; de oorspronkelijke structuur bleef in het algemeen behouden.

2462*: G. W. Rathenau en G. Baas: Emission electron microscopy (Proc. third int. Conf. Electron Microscopy, Londen 1954, blz. 387-390).

Korte beschrijving van methode en apparatuur bij metallografische studies van metaaloppervlakken met behulp van de emissie-elektronenmicroscoop (zie ook Philips techn. T. **17**, 147-149, 1955 en **18**, 1-10, 1956).

2463*: H. B. Haanstra: The use of surface-active materials in electron microscopy, particularly for surface replicas (Proc. third int. Conf. Electron Microscopy, Londen 1954, blz. 489-490).

Na een korte verklaring van de werking van oppervlakteactieve stoffen wordt uiteengezet hoe men van deze stoffen gebruik kan maken bij het vervaardigen van replica's in de elektronenmicroscopie. Zij kunnen o.a. worden toegepast om een te sterke hechting te voorkomen van de plastieklaag aan metaaloppervlakken en om plastiekreplica's te maken van hydrofiele oppervlakken.

2464: B. B. van Iperen: Klystrons reflex pour ondes millimétriques (Le Vide **11**, 264-266, 1956; no. 65).

Beschrijving van drie reflectieklystrons, nl. voor 12, 8 en 4 mm golflengte. Deze buizen, die in hoofdzaak alle drie op gelijke wijze zijn geconstrueerd, kunnen langs mechanische weg 10 à 25% verstemd worden en leveren continu een vermogen van ca. 100 mW. Voor alle drie de buizen bedroeg het gemeten uitgangsvermogen bijna 2/3 van het theoretisch berekende. Gebruik makende van deze correctiefactor, waarvan het optreden wordt toegeschreven aan de invloed van ruimtelading en van spreiding in de looptijden der elektronen, wordt een schatting gemaakt van de kleinste golflengte die met buizen van het beschreven type theoretisch bereikbaar is. De werkelijk met de 4 mm-buis bereikte kleinste golflengte van 3,65 mm is ca. het dubbele van deze grenswaarde. Zie ook Philips techn. T. **18**, 55-56, 1956 (no. 2).

2464a: F. Coeterier: Tubes à réflexions multiples (Onde électr. **36**, 917-919, november 1956).

Korte mededeling over een tweetal nieuwe ontwikkelingen aan multireflectiebuizen. De eerste betreft de wijze waarop de elektronenpakketten worden gevormd en waarop men deze, zonder dat ze weer uit elkaar lopen, langs een zg. resonatorspleet laat oscilleren. Naast de bekende methode, waarbij men gebruik maakt van één spleet, gecombineerd met een remveld met geschikte eigenschappen, is thans een tweede methode ontwikkeld, waarbij een aantal spleten worden gebruikt en waarbij de elektronen elkaar niet alleen in een remveld, maar ook in veldvrije ruimten inhalen. De nieuwe methode maakt het mogelijk buizen voor kleine golflengten te vervaardigen (3 cm) zonder te vervallen in extreem kleine afmetingen. Het uitgangsvermogen is ca. 10 watt en het nuttige effect is 20%, evenals bij de eerstgenoemde methode. De tweede ontwikkeling betreft een afsteminrichting die bestaat uit een lechersysteem waarin een metalen staaf beweegbaar is opgesteld. Een voortdurende frequentiezwaai, zoals b.v. bij scheepsradar wordt toegepast, kan hierbij worden verkregen door de staaf te laten trillen.

2464b: J. G. van Wijngaarden: Nouvelles possibilités des triodes à disques scellés (Onde électr. **36**, 888-892, november 1956); Franse en Engelse tekst.

Bij schijftriodes met oxydekatode wordt aan het bruikbare frequentiegebied een grens gesteld door de looptijd van de elektronen. Deze looptijd neemt, voor een gegeven afstand tussen katode en rooster, af met toenemende stroomdichtheid. Door schijftriodes te voorzien van een L-katode, waarvan grote toelaatbare stroomdichtheden een typisch voordeel zijn, kon het bruikbare frequentiegebied worden vergroot. Bij de nieuwe buizen is het punt van beperking van de frequentie verschoven naar de constructieve moeilijkheid om een $\frac{1}{4}\lambda$-trilholte om de rooster-anoderuimte aan te brengen. Het beschikbare hoogfrequentievermogen neemt, bij

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gegeven toelaatbare anode- en roosterdissipaties, toe met toenemende stroomdichtheid, zodat ook in dit opzicht de L-katode gunstig is. Een buis van het nieuwe type, een triode voor 4000 MHz met een beschikbaar hoogfrequentievermogen van 20 watt bij een bandbreedte van 100 MHz, wordt besproken. Het zal thans wellicht mogelijk blijken schijftriodes te construeren voor frequenties tot 10 000 MHz met redelijke eigenschappen wat betreft versterking en vermogen bij voldoende bandbreedte. (Zie ook Philips techn. T. **18**, 321-328, 1956, no. 11).

2464c: S. Woldring: Over de ademhaling tijdens het spreken van dove kinderen (T. voor Doofstommenonderwijs **26**, 153-160, 1956, no. 4).

Bij het spreken is een goede coördinatie van de ademhaling met de bewegingen van de spraakorganen van essentieel belang. Bij normaal horenden komt deze coördinatie tot stand onder leiding van het gehoor. Onderzoekingen door middel van zg. pneumogrammen, opgenomen aan borst en buik in rust en tijdens spraak bij normale en bij dove kinderen, brachten, bij de laatsten, duidelijk de ongeremdheid van de ademhaling tijdens het spreken aan het licht. Een verbetering van de geluidsperceptie zal automatisch een verbetering van de spraak tot gevolg hebben.

2464d: H. Bremmer: Remarks on the connection between mode theory and ray theory (blz. 1552-1558 van supplement no. 4 bij Nuovo Cimento **4**, serie X, 1956).

Bij de theoretische behandeling van de voortplanting van radiogolven via de ionosfeer kan men twee wegen bewandelen: men kan denken aan stralen die door herhaalde reflecties tegen het aardoppervlak en tegen de ionosfeer ten slotte van de zender bij de ontvanger terecht komen, of men kan bij de oplossing van de betrokken differentiaalvergelijking gebruik maken van karakteristieke functies (eigenfuncties). De samenhang tussen de twee methodes wordt in dit artikel toegelicht door voor een vereenvoudigd model de berekening uit te voeren volgens de eerstgenoemde methode. De oplossing wordt gegeven in de vorm van een integraalformule waarin de reflectiecoëfficiënten van de aarde en van de ionosfeer optreden. Door toepassing van de residustelling wordt deze oplossing gebracht in een vorm die correspondeert met de tweede oplossingsmethode. De samenhang tussen de twee methodes blijkt mathematisch hierop te berusten dat de bedoelde residuen worden bepaald door een resonantievoorwaarde waarin de twee reflectiecoëfficiënten optreden en waarin de reflectiecoëfficiënt van de ionosfeer afhangt van de bij het probleem betrokken eigenfuncties.

2465: H. G. Bruijning: High-power pulse-generators (T. Ned. Radiogenootschap **22**, 1-14, 1957, no. 1).

In het Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven is een experimentele radarinstallatie gebouwd voor impulsen van 0,01 μs bij een herhalingsfrequentie van 2000 per sec. Dit artikel beschrijft de ontwikkeling van de impulsgenerator, die impulsen van 15 kV en 15 A aan het magnetron moet afgeven. Bovendien wordt een oscillograaf met een bandbreedte van 400 MHz beschreven, die speciaal voor onderzoekingen in verband met de genoemde radarinstallatie werd gebouwd.

2466: S. Duinker: On the resolving power in the process of magnetic recording (T. Ned. Radiogenootschap **22**, 29-48, 1957, no. 1).

Theoretische analyse van het opneemproces bij magnetische registratie. Aangenomen wordt dat de opneemkop wordt gemagnetiseerd door stroomimpulsen die gesuperponeerd zijn op een zekere gelijkstroom. Daarbij worden nog twee gevallen onderscheiden, nl. zonder en met een hoogfrequente bijstroom. Iedere stroompiek geeft in de band aanleiding tot een, als functie van de plaats, min of meer geleidelijk verlopend magnetisatiepatroon. Voert men de herhalingsfrequentie van de stroomimpulsen op, dan gaan de corresponderende magnetisatiepatronen elkaar ten slotte overlappen. Dit verschijnsel wordt genomen als uitgangspunt voor een discussie van het scheidend vermogen bij het opneemproces. Het blijkt dat het scheidend vermogen afhangt van de verhouding van de hoogte der stroomimpulsen en de grootte van de gelijkstroom, van de vorm van het door de opneemkop geleverde veld en van de dikte van de magnetische laag op de band. Bij toepassing van een hoogfrequente bijstroom komen daar nog bij: de relatieve sterkte van deze stroom en de kritische veldsterkte van de band. De analyse leidt tot de conclusie dat, bij de huidige stand der techniek, een grens aan het scheidend vermogen wordt gesteld door de eigenschappen van de band, en niet door die van de opneemkoppen.

2467: J. Bloem en F. A. Kröger: De diffusie van Cu in PbS (Chem. Weekbl. **53**, 1-4, 1957, no. 1).

Cu kan in PbS-kristallen voorkomen op Pb-roosterplaatsen en op tussenroosterplaatsen. In het eerste geval geven de Cu-atomen aanleiding tot

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een geleidingsvermogen door gaten (*p*-geleiding), in het tweede geval tot een geleidingsvermogen door elektronen (*n*-geleiding). Uit experimenten blijkt dat Cu een sterke voorkeur vertoont voor de Pb-roosterplaatsen. Diffusie van Cu geschiedt bij temperaturen beneden 500 °C via tussenroosterplaatsen. Onder invloed van de gebruikte atmosfeer (H_2 of H_2S) blijkt het mogelijk, bij deze lage temperaturen, Cu in of uit PbS-kristallen te laten diffunderen.

R 319: B. van der Veen: On the angle between wave front and displacement of plane acoustic waves in quartz (Philips Res. Rep. **12**, 273-280, 1957, no. 4).

Kwartsplaatjes die volgens X-sneden (grote zijvlakken loodrecht op de tweetallige as) uit het kristal gezaagd zijn, en die men wil gebruiken als piëzoelektrische lengtetrillers, geeft men gewoonlijk een rechthoekige vorm. Slechts als de lange zijde van zo'n plaatje samenvalt met een zeer bepaalde kristalrichting, treedt geen koppeling op tussen de gewenste lengtetrilling en ongewenste dwarstrillingen. Bij deze bepaalde oriëntatie heeft men echter hetnadeel dat de desbetreffende eigenfrequentie van het kristal in veel sterker mate afhangt van de temperatuur dan bij bepaalde andere oriëntaties. Naar aanleiding van een opmerking van C. Franx te Eindhoven heeft de auteur nagegaan of men de koppeling van lengte- en dwarstrillingen ook bij een willekeurige oriëntatie van de lange zijde kan vermijden door het plaatje de vorm van een parallellogram te geven. Dit bleek inderdaad mogelijk. Voor de oplossing van het probleem was het nodig een uitdrukking af te leiden voor de hoek tussen golffront en verplaatsing bij vlakke golven die zich in kwarts voortplanten.

R 320: J. Bloem en F. A. Kröger: Interstitial diffusion of copper in PbS single crystals (Philips Res. Rep. **12**, 281-302, 1957, no. 4).

Bij temperaturen tussen 100 °C en 500 °C kan Cu snel in PbS-kristallen diffunderen via tussenroosterplaatsen. Komt een Cu-atoom in de nabijheid van een kationvacature, dan zal het deze vacature opvullen. Ook kan koper worden gebonden door zwavel dat zich bij inwendige scheurtjes en dislocaties heeft verzameld. Voor de diffusiecoëfficiënt geldt: $D_{Cu} = 0{,}005 \exp(-7130/RT)$ cm²sec^{-1} (R=gasconstante, T = absolute temperatuur). Koperatomen op tussenroosterplaatsen geven gemakkelijk één elektron af: zij leveren donorniveaus die ca. 0,02 eV onder de geleidingsband liggen. Als de atmosfeer zwavel bevat (b.v. in de vorm van H_2S), diffundeert het koper niet naar binnen; koper dat zich reeds op tussenroosterplaatsen bevindt, kan zelfs naar buiten diffunderen als de temperatuur wordt opgevoerd. De auteurs schrijven dit effect toe aan een verlaging van de thermodynamische potentiaal van koper door de vorming van Cu_2S of van CuS.

R 321: J. Bloem en F. A. Kröger: Interstitial diffusion of nickel in PbS single crystals (Philips Res. Rep. **12**, 303-308, 1957, no. 4).

In een reducerende atmosfeer kan nikkel in PbS-kristallen diffunderen bij temperaturen beneden 500 °C, dat zijn temperaturen waarbij de zelfdiffusie in PbS verwaarloosbaar klein is. Het nikkel vermindert het normale geleidingsvermogen van PbS, dat van type *p* is, en kan zelfs aanleiding geven tot een overgang naar een geleidingsvermogen van type *n*; de donorniveaus liggen daarbij ca. 0,03 eV beneden de geleidingsband. De diffusie geschiedt vermoedelijk via tussenroosterplaatsen, waarbij voor de diffusieconstante geldt: $D_{Ni} = 17{,}8 \exp(-22\,000/RT)$ cm²sec^{-1} (R = gasconstante, T = absolute temperatuur). Als de atmosfeer zwavel bevat (b.v. in de vorm van H_2S), kan het nikkel weer naar buiten diffunderen, waarbij het oorspronkelijke geleidingsvermogen van type *p* wordt hersteld. (Vgl. no. **R 320** van deze overzichten.)

R 322: C. Z. van Doorn: Anisotropy of colour centres in alkali halides (Philips Res. Rep. **12**, 309-323, 1957, no. 4).

In KCl- en NaCl-kristallen die additief zijn gekleurd, vormen zich, wanneer zij bij kamertemperatuur worden bestraald met licht in de zg. *F*-absorptieband, *M*- en *R*-centra, die aanleiding geven tot het optreden van nieuwe absorptiebanden. Bestraling bij 77 °K met licht in deze *F*-, *M*- en *R*-banden doet de kristallen fluoresceren. In een vorig artikel (zie no. **R 303** van deze overzichten) werd de bestraling in deze banden met ongepolariseerd licht behandeld. Bij bestraling met gepolariseerd licht — het onderwerp van het onderhavige artikel — geven de kristallen ongepolariseerde fluorescentiestraling in het infrarood (deze emissie is te danken aan de *F*-centra) en gepolariseerde fluorescentiestraling in twee andere golflengtegebieden, eveneens in het infrarood (deze emissies zijn te danken aan de *M*- en de *R*-centra). De mate van polarisatie en de polarisatierichting hangen af van het type van de betrokken centra en van de eigenschappen (golflengte, polarisatierichting) van de invallende straling. Bestraling met gepolariseerd licht in de *F*-band veroorzaakt bovendien dichroïsme in de *F*- en in de *M*-band. Ter verklaring van de waargenomen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

verschijnselen worden modellen van de genoemde centra voorgesteld.

R 323: M. T. Vlaardingerbroek, K. S. Knol en P. A. H. Hart: Measurements on noisy fourpoles at microwave frequencies (Philips Res. Rep. **12**, 324-332, 1957, no. 4).

Beschrijving van een nieuwe methode om de grootheden te meten die de ruis karakteriseren van ruisende lineaire vierpolen. De nieuwe methode is bijzonder geschikt om te worden toegepast bij cm-golven als de te onderzoeken vierpool is aangepast bij de karakteristieke impedantie van de aangesloten golfgeleider. Aan deze voorwaarde kan men altijd voldoen. De methode wordt toegepast op een microgolftriode.

R 324: J. L. Meijering: Residual entropy of ice, and related combinatorial problems (Philips Res. Rep. **12**, 333-350, 1957, no. 4).

In ijs wordt ieder O-atoom omringd door vier andere O-atomen. Op iedere verbindingslijn tussen twee O-atomen, maar niet in het midden, bevindt zich een H-atoom. Gezien vanuit een O-atoom, bevinden zich twee H-atomen dichterbij en twee verderaf dan de halve afstand tussen twee O-atomen. Pauling heeft de nulpuntsentropie berekend van ijs, waarbij hij aannam dat er in de verdeling van de H-atomen verder geen regelmaat optreedt (ongeordend ijs). Het aantal realiseringsmogelijkheden van een bepaalde toestand berekende hij volgens een zeer eenvoudige, maar niet geheel exacte methode. De auteur vindt, volgens een nieuwe en nauwkeuriger, maar ook omslachtiger, en evenmin geheel exacte methode, een ca. 5% hogere waarde van de nulpuntsentropie. Ook op enige andere problemen heeft de auteur de nieuwe methode toegepast. Voor een kwadratisch rooster levert deze methode een 6% hogere waarde dan Paulings methode. Bij dit type rooster treedt nog een complicatie op doordat de lijnen die in een roosterpunt samenkomen, ten opzichte van elkaar niet gelijkwaardig zijn. Ditzelfde effect treedt op bij een kubisch rooster en moet in $Ag_2H_3JO_6$ aanleiding geven tot zekere a priori voorkeursverdelingen voor de dipooloriëntaties. Ook op het honingraatrooster past de auteur de nieuwe berekeningsmethode toe en vindt dan een 20% hogere waarde voor de nulpuntsentropie dan door Lipscomb werd berekend. Dit verschil moet worden toegeschreven aan een randeffect.

R 325: J. H. N. van Vucht: Some data about the system cerium-thorium (Philips Res. Rep. **12**, 351-354, 1957, no. 4).

Onderzoekingen aan het systeem cerium-thorium met de microscoop en door röntgendiffractie leverden als resultaat, dat cerium en thorium een complete reeks mengkristallen vormen met een kubisch vlakkengecentreerde kristalstructuur. De roosterconstante bleek, speciaal aan de thoriumrijke zijde van de reeks, kleiner te zijn dan uit de wet van Vegard zou volgen.

R 326: K. F. Niessen: Influence of foreign ions on the critical field strength of an antiferromagnetic (Philips Res. Rep. **12**, 355-363, 1957, no. 4).

Afleiding van een uitdrukking voor de kritische veldsterkte (zie ook no. **R 318** van deze overzichten) van een antiferromagneticum waarin, in elk van de twee deelroosters, een fractie van het aantal oorspronkelijke magnetische ionen is vervangen door magnetische ionen met een ander magnetisch moment of zelfs door niet-magnetische ionen. In het laatste geval wordt de kritische veldsterkte gegeven door een betrekkelijk eenvoudige formule.

R 327: L. J. van der Pauw: Analysis of the photoconductance in silicon (Philips Res. Rep. **12**, 364-376, 1957, no. 4).

De auteur leidt een algemene formule af voor de wisselspanning die ontstaat over een siliciumkristal wanneer door dit kristal een constante stroom wordt gestuurd, terwijl van opzij een, in intensiteit sinusvormig gemoduleerde, monochromatische lichtbundel invalt. Deze formule is een geschikt uitgangspunt voor de theoretische behandeling van verscheidene experimenten betreffende fotogeleiding. De auteur gebruikt de formule om aan te tonen dat het in bepaalde gevallen geen verschil maakt of men wit in plaats van monochromatisch licht gebruikt. Door vergelijking van experimentele en theoretische krommen die bij lage frequenties de fazehoek tussen het lichtsignaal en de wisselspanning geven als functie van de dikte van het kristal (in de richting van het invallende licht), kan men de levensduur der meerderheidsladingsdragers in het inwendige van het kristal te weten komen, alsmede de recombinatiesnelheid aan het oppervlak en de driftbeweeglijkheid. Ook kan men iets over de eigenschappen van vangcentra („traps") te weten komen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!